GEOLOGIA DA RAIZ DE UM GREENSTONE BELT NA REGIÃO DE FORTALEZA DE MINAS, MINAS GERAIS

NOEVALDO ARAÚJO TEIXEIRA
METAIS DE COIÁS S/A — RUA 68 Nº 727 — GOIÂNIA (GO).

JOSÉ CARUSO M. DANNI
DEPTO. DE GEOCIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA — BRASÍLIA (DF)

ABSTRACT

The aim of this study is to define the volcano-sedimentary sequence of Morro do Ferro, located in Fortaleza de Minas, as a part of a larger greenstone belt. The volcano-sedimentary sequence, in contact with orthogneisses, migmatites, cataclastic rocks of the sialic "basement" is unconformably overlaid by the phyllites and marbles of the Araxa Group.

The basal unit of the sequence, Morro do Níquel Unit, is composed of

ultramafic flows with spinifex texture intercalated with chemical sediments and aluminous tuffs. Over it is the middle unit called Corrego Salvador, composed of basaltic rocks associated with acid tuffs and chemical sediments. The upper unit, Morro do Ferro, is exclusively constituted of sedimentary rocks, phyllites, marbles, iron formation, and muscovite-chlorite schist and quartz-chlorite schist which may represent reworked volcanic rocks.

The volcano-sedimentary belt is intensively tectonized having tight vertical isoclinal N-W folds.

There are indications of three phases of deformation. The regional metamorphism is of greenschist facies with chloritoid and chlorite-albite-epidote-tremolite parageneses in basic rocks. Potentially the ultramafic flows are the most favorable rocks to have mineralization, Ni-Cu massive sulfides.

INTRODUÇÃO

Os primeiros estudos envolvendo a evolução geológica do Pré-Cambriano Brasileiro, foram calcados nos modelos de orogênese Alpina. As áreas portadoras de rochas ultramáficas, mereciam a designação de eugeossinclinal e complexo ofiolítico. a partir do trabalho de Anhaeusser *et al* (1969), tem-se reavaliado e reconhecido extensas áreas arqueanas mundiais com características lito-estratigráficas e estruturas análogas às evidenciadas em Barberton (e.g. Windley e Bridgwater, 1971; Baragar e McGlynn, 1976; Glikson, 1976 etc.).

Os estudos comparativos das sequências vulcanogênicas não decorre apenas por interesse acadêmico, mas também pela grande po-

tencialidade econômica presente em ambientes do tipo *greenstone belt*.

No Brasil, algumas áreas de idade ainda indefinida mas potencialmente favoráveis, têm sido descobertas; Crixás e Chapada em Goiás, e os já divulgados *greenstones belts*, do Estado da Bahia, estudados por Mascarenhas (1974). Áreas já reconhecidas geologicamente sofreram reinterpretações à luz do conhecimento bibliográfico: o Quadrilátero Ferrífero e Boquira foram considerados por Almeida (1976) e Almeida (com. verbal 1976), como sequências *greenstone belts*; Schorscher (1976) propôs, para a Série Rio das Velhas, a mesma evolução. Recentemente, Costa *et al* (1976) reconheceram nas proximidades de Natividade, restos de uma

sequência vulcano-sedimentar, aparentemente do tipo *greenstone belt*. Danni e Ribeiro (1978), identificaram na sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos feições análogas às encontradas nos *greenstone belts*, o que ficou recentemente confirmado pela descoberta de peridotitos com *spinifex* na área de Crixás (Saboia, 1979).

O estudo da sequência Morro do Ferro pretende contribuir no sentido de estabelecer uma caracterização ambiental levando em conta suas peculiaridades litológicas e estruturais. Deve ser dito que a reduzida extensão do cinturão estudado, aliado à ausência de datações radiométricas, limitam bastante o estabelecimento de um quadro evolutivo mais completo.

GEOLÓGIA

O primeiro trabalho geológico da área foi realizado em 1935 por Moraes, com participação de Barbosa. Embora possuía natureza bem restrita, pois investigaram apenas as imediações do Morro do Níquel os autores reconheceram os principais tipos litológicos, além de mencionarem a possibilidade de ter ocorrido vulcanismo.

Brandalise *et al* (1971) chama a aten-

ção para os clorita xistos intercalados com itabiritos da área, sugerindo uma evolução geossinclinal ligada ao Grupo Araxá.

No Estado de Minas Gerais as rochas que constituem o embasamento siálico para as coberturas plataformais (Bambu, Espinhaço etc) e eventualmente porções alóctones de seus cinturões metamórficos periféricos, afloram com maior frequência a oeste do meridiano

42,5° como manchas mais ou menos espalhadas, constituindo as porções visíveis do Craton São Francisco. Particularmente no seu extremo sudoeste, os processos erosivos removeram grande parte do Grupo Araxá, expondo não só extensas áreas de rochas granito-gnáissicas, mas também a pequena porção vulcano-sedimentar, cuja evolução acha-se intimamente associada ao embasamento granito-gnáissico (Fig 1)

Esta sequência reúne os conjuntos litológicos que na região sudoeste de Fortaleza de Minas encontra-se imediatamente embutida no embasamento e sotoposto discordantemente aos filitos e metacalcários do Grupo Araxá. Ocorre como uma faixa estreita e bem individualizada, sobre uma crosta siálica antiga, localizada junto a extensa faixa de rochas cataclásticas de direção noroeste.

Embora a sequência possua espessura bastante reduzida e ainda seja desconhecida sua idade radiométrica, apresenta algumas características do ponto de vista estratigráfico, estrutural e do próprio posicionamento em tudo semelhante às raízes das sequências vulcanôgenas do tipo *greenstone belt* no sentido utilizado pelos geólogos sul-africanos.

A porção basal do cinturão Morro do Ferro é representada por vulcânicas ultramáficas intercaladas com precipitados químicos, sedimentos detríticos finos e níveis tufogênicos aluminosos. Sobreposto a essa unidade, estabeleceu-se um vulcanismo balsático, acompanhado de atividade explosiva sob a forma de tufos ácidos e sedimentação química associada. Diques de diorito e corpos irregulares ou bem individualizados de rochas ultramáficas serpentinizadas cortam a sequência (por exemplo a intrusão Morro do Níquel). A unidade superior é nitidamente de caráter sedimentar com níveis derivados do retrabalhamento de rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, além de pelitos com lentes de calcário, um espesso horizonte de chert ferrífero e cloritóide xistos.

Tais litologias acham-se morfologicamente representadas por uma sucessão de cristas com direção noroeste e cotas em torno de 1.000m. As cotas mais altas acham-se sustentadas por níveis da formação ferrífera do topo Morro do Ferro. A porção basal do cinturão é pobremente exposta, sendo os melhores afloramentos situados a oeste do Morro do Níquel e na extremidade sudoeste da área mapeada. A parte do cinturão que estudamos aflora por cerca de 30Km na direção NW com 2,5Km de largura média.

ESTRATIGRAFIA

A coluna estratigráfica da área é de difícil compreensão, devido aos complicados efeitos de dobramentos e falhamentos, bem como a ausência de afloramentos contínuos, o que impede o estabelecimento de uma seção com-

pleta de todos os tipos litológicos presentes. Foi dividida em três unidades: Morro do Níquel, Córrego Salvador e Morro do Ferro. O critério para tal divisão fundamentou-se na distinção dos diferentes tipos petrográficos e consequente variação dos ambientes formadores destas rochas. (Fig. 2).

samento, consideramos a sequência de xistos verdes magnesianos a sudoeste do Morro do Níquel, e o prolongamento sudeste do cinturão, como as porções basais da sequência vulcanogênica. O segmento noroeste acha-se desmembrado por falhamentos EW de rejeito direcional. A sudoeste, parte da se-

COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA COMPLETA DO CINTURÃO VULCANO-SEDIMENTAR MORRO DO FERRO

FIG. - 02

Unidade Morro no Níquel

Por estar diretamente em contato com os gnaisses cataclásticos do emba-

quência é coberta discordantemente pelo Grupo Araxá. O contato leste realiza-se com granitos cataclásticos de granulação grosseira aparentemente

mais jovens que os ortognaisses regionais. Observou-se, como prováveis efeitos intrusivos dos granitos sobre os xistos, uma acentuada verticalização na xistosidade e pequenas apófises graníticas injetadas nestas rochas.

A porção sudoeste do cortejo litológico acha-se limitada, em ambos os flancos, por rochas cataclásticas, que em função do acentuado nível de moagem impede um diagnóstico preciso de sua natureza original. A leste do Morro do Níquel, ocorre uma mancha isolada de xistos verdes envolvidos por granito-gnaisses cizalhados.

Fundamentalmente a unidade ultramáfica basal acha-se constituída pelos seguintes tipos litológicos: talco-tremolita xistos, tremolita-serpentina-clorita xistos e intercalações de metacherts e metatufos, wackes feldspáticos e sericita-quartzo xistos.

Os xistos magnesianos possuem coloração verde quando frescos e marron amarelado em superfície alterada. O solo sobre tais rochas possui cor avermelhada bastante característica, tendo sido utilizado na delimitação de alguns contatos na ausência de afloramentos. Macroscopicamente apresentam como principais minerais os anfibólios (tremolita-actinolita), clorita e talco, os quais estão geralmente bem orientados. A tremolita forma prismas delgados ou fibras com terminações irregulares e os acessórios mais importantes são magnetita e hidróxido de ferro. Antigos peridotitos acham-se transformados em clorita-tremolita xisto, com pseudomorfos de olivina ainda conservados. Os melhores afloramentos situam-se a sul do Morro do Níquel.

A porção ultramáfica, na qual acha-se inserido o Morro do Níquel, apresenta uma sequência que contém estimativamente 80% de clorita-tremolita ou clorita-serpentina-tremolita xistos e 20% de tufos félsicos alterados e primitivos horizontes sedimentares químicos. Perfis transversais ao cinturão demonstram a existência de chert ferrífero (fácies óxido), perfeitamente concordante (paralela à foliação), com os tremolita-clorita xistos, quartzo-sericita xistos e porcelanito. Os níveis sedimentares possuem espessura média em torno de 1,5m, e localmente apresentam intercalações de wacke feldspático e metatufo.

Embora a complexidade estrutural aliada à péssima condição dos afloramentos não permita uma conclusão definitiva, os níveis de xistos magnesianos que ocorrem intercalados com os estratos metassedimentares aparentam espessura em torno de 30m, enquanto que as camadas de chert ferrífero nunca ultrapassam 1,5m.

De maneira geral a direção das camadas mostram atitudes em torno de N80W e xistosidade de fluxo predominantemente verticalizada. Etapas de deformações superimpostas originaram evidente foliação de crenulação, assim como *Kink bands* cujas direções dos eixos são geralmente paralelo ao *trend* do cinturão.

A partir do nariz da antiforme do Chapadão, prolongando-se em direção sudoeste, reaparecem os xistos magnesianos, representados por tremolita-clorita xistos, associados a níveis de metacherts ferríferos (1,0m) e de talco xistos. A faixa de ocorrência de tais litologias possui largura média de 2,5 Km e acha-se embutida em granito-gnaisses cataclásticos. Os mergulhos da principal xistosidade (S1) quando não estão verticalizados, mostram caimento para SW.

Unidade Córrego Salvador

Não foi possível encontrar o contato que mostrasse o relacionamento direto entre os xistos magnesianos e as litologias desta unidade. Contudo, parece lógico admitir, em razão de sua posição estrutural, que os *greenschists* encontrados no leito do Córrego Salvador, e em alguns esparsos afloramentos internos à anticlinal, situados a Sul do Morro do Níquel, acham-se sobrepostos aos xistos ultramáficos e sotopostos aos mertasedimentos do topo. A norte da Fazenda Salvador, situam-se as melhores exposições, sendo, da base para o topo, constituída por: epidoto-tremolita-clorita xisto, sericita-clorita xisto, metarritmitos (silte-argila), chert ferrífero (*iron formation*), talco xistos e clorita-tremolita xistos.

Os *greenschists* possuem a granulação fina, o que lhes confere um aspecto maciço. A proporção dos diversos tipos litológicos da unidade pode ser estimada em 30% de *greenschists* (epidoto-tremolita-clorita xisto), 10% de ritmito e metachert ferrífero (Foto 1), 50% de sericita-clorita xisto (Foto 2) e 10% de talco xisto e clorita-tremolita xisto.

Unidade Morro do Ferro

A unidade do topo é assim denominada, por estar melhor representada nas encostas do morro homônimo. É constituída por filitos sericíticos de cor cinza, localmente grafitosos, contendo lentes de metacalcários de cor cinza. Sobreposto encontra-se muscovita-clorita-cloritóide xisto de cor verde com

tons avermelhados devido a alteração do cloritóide. Tal mineral é amplamente visível a olho nú, aparecendo sob a forma de pequenas rosetas, ou em seu hábito característico em gravata de borboleta (Foto 3).

FOTO 1 — Chert ferrífero com stilpnomelano (porção inferior), faixas anastomosadas de hematita (opaco) e quartzo recristalizado (branco). Nicols //, 34x.

FOTO 2 — Sericita-clorita xisto da Unidade Córrego Salvador. Rocha de composição tútacea, apresentando porções lenticulares constituídas de sericita (Se), que provavelmente represente antigos fragmentos ou material vulcânico retrabalhado. Nicols X, 34x.

FOTO 3 — Clorita-muscovita-cloritóide xisto da Unidade Morro do Ferro. É evidente a recristalização pós-tectônica do cloritóide (C1). No centro possível cristal de quartzo bipiramidal. Nicols //, 34x.

Os filitos preservam as melhores microestruturas nos quais constata-se característica foliação de crenulação com disposição dos planos sempre verticali-

zados. Sobre este nível ocorre o principal pacote de metachert ferrífero (*iron formation*), caracterizado pela alternância rítmica de bandas de hematita compacta fina e quartzo recristalizado. A faixa de rochas desta unidade segue direção noroeste dobrando-se em apertada anticlinal na sua porção média daí tomando rumo sudoeste, desaparecendo nas imediações do nariz da sinforme do Chapadão.

O contato oeste das duas unidades superiores (Morro do Ferro e Córrego Salvador), com a sequência Itaú da Formação Canastra, realiza-se através de uma ampla *nappe de charriage*. As unidades metavulcânicas mergulham com 80° a 70°, enquanto que os estratos Araxá mergulham com 30°, ambos para sudoeste. A leste limita-se com as rochas cataclásticas representadas principalmente por milonito-gnaisses.

Ambiente

Sob este tópico pretendemos levantar as possibilidades genéticas para alguns tipos de rochas da sequência Morro do Ferro. Algumas delas, por serem fundamentais para o entendimento da geologia do cinturão, merecem algumas considerações teóricas e tratamento isolado. É o caso do serpentinito, das lavas ultramáficas, dos horizontes silicosos e dos cherts ferríferos.

Rochas Ultramáficas

O estudo das rochas ultramáficas da sequência Morro do Ferro foi conduzido no sentido de um questionamento entre o posicionamento plutônico ou com fluxos de lavas, tendo sido levado em consideração todos os demais fenômenos relacionados, como a tectônica, petrologia e estratigrafia.

Os xistos verdes a tremolita, clorita, talco e serpentina da sequência Morro do Ferro, poderiam eventualmente resultar dos seguintes processos: a) metamorfismo regional sob condições de fácies xisto verde em rochas ultramáficas intrusivas (diferenciadas ou não) ou extrusivas; b) metamorfismo regional sobre dolomitos e calcários impuros; c) rochas sedimentares transformadas por metassomatismo de sílica, ferro e magnésio, no contato com rochas máficas e ultramáficas intrusivas.

Feições tais como a ausência de estruturas bandadas tão comuns em rochas sedimentares metamorfizadas, a presença de cristais ígneos de olivina com formas ovais e substituídos por agregados de prismas alongados de tre-

molita, e os valores anormalmente altos de certos elementos traços (Cr, Ni, etc) permitem eliminar as hipóteses não magmáticas.

A origem magmática deve ser criticamente testada sob três possibilidades: a) corpo intrusivo com diferenciação *in situ*; b) porções do manto superior, tectonicamente posicionadas no estado sólido; c) corridas de lavas, resultantes de sucessivas extrusões.

Fundamentalmente, dois argumentos são utilizados para a caracterização de lavas de composição ultrabásica: 1) presença de estruturas e texturas tipicamente vulcânica como *pillon*, amígdalas, linhas de fluxo, esferulitos, varíolas e as indefectíveis *spinifex*; 2) intercalações de horizontes sedimentares entre as rochas ultramáficas.

Na região estudada, a primeira evidência foi constatada em um afloramento situado a 400m a sudoeste do Morro do Níquel. Aí reconheceu-se nos xistos ultramáficos, remanescentes de textura ígnea (Foto 4) caracterizada por agregados de anfibólio como ripas alongadas, além de finos cristais relic-ticos de clinopiroxênio, em arranjos semelhantes às texturas *spinifex*. No esquema de Pyke *et al* (1973), corresponderia a porção superior do *flow* ultrabásico caracterizado por *spinifex* fino e situado logo abaixo da zona de resfriamento do topo.

FOTO 4 — Textura *spinifex* aflorando a SE do Morro do Miguel, semelhante às encontradas nas porções superiores de flows ultrabásicos arqueanos. Notar as lâminas de olivina pseudomorfizadas em serpentinas e o clinopiroxênio transformado em tremolita e clorita dispostos alternadamente. Nicols // 34x.

A não preservação de todas as porções dos *flows* pode ser resultante da pronunciada deformação plástica e metamorfismo regional, comparativamente mais acentuado do que o registrado nas rochas de Munro Township no Canadá onde o metamorfismo regional atingiu apenas o fácies prehnita-pumpeleiyta (Arndt *et al.* 1977). Argumentação semelhante foi utilizada por Anhaeusser (1971, b, pg. 2) para justificar

a ausência de tais texturas em áreas de metamorfismo mais enérgico, como no Jamestown Schist Belt. Outro fator, que na Sequência Morro do Ferro talvez tenha impedido a completa caracterização destas feições, é a descontinuidade e acentuada alteração intempérica dos afloramentos.

Outra evidência de origem extrusiva dos xistos ultramáficos é testemunhada pelas intercalações de estratos sedimentares, os quais estão repetidamente representados na sequência. Os anfibólio xistos ocorrem como camadas intimamente estratificadas com rochas sedimentares detríticas ou químicas: ritmitos formados pela deposição de silte e argila, cherts, wacke feldspáticos, e rochas tufáceas de composição ácida. O relacionamento de tais estratos pode ser observado a sudoeste do Morro do Níquel e no extremo sudeste do cinturão.

Horizontes Silicosos

Representam uma sucessão alternada de níveis estreitos (1,5m), com os xistos a anfibólio, tufos e chert ferrífero. Os principais estratos ocorrem em maior frequência na extremidade sudeste do cinturão e no nariz do anticlinal do Córrego Salvador. Fundamentalmente constituem três tipos petrográficos distintos:

- a) Sericita metarritmito ferruginoso
- b) Muscovita (Cr) metarritmito
- c) Sericita-quartzo xisto

Os dois primeiros tipos correspondem a uma rocha finamente bandada, com alternância cíclica de níveis quartzosos e sericíticos. São estratos provavelmente sedimentares de natureza detrítica, uma vez que ainda conservam estrutura de acamamento gradacional. Entre o sericita metarritmito ferruginoso e o fuchsita metarritmito não existe distinção textural ou mesmo na forma de ocorrência. Ambos apresentam-se como horizontes estratigráficos bem definidos, sempre associados com metacherts ferríferos (*iron formation*).

Apresentam forte xistosidade caracterizada pela deposição planar da sericita, sendo possível distinguir pelo menos duas fases de deformações. A primeira é responsável pelo desenvolvimento da S1, acompanhada por metamorfismo epizonal (recristalização de sericita). A segunda é marcada pela foliação de crenulação com concomitante desenvolvimento de biotita. A lineação desenvolvida é paralela aos eixos das crenulações.

O sericita-quartzo xisto faz parte de uma outra associação litológica. Ocorre

associado com metatufos ácidos, chert ferrífero, metawacke e clorita-tremolita xisto da unidade Morro do Níquel, aparecendo em afloramentos nas margens da estrada Morro do Níquel-For-taleza de Minas.

Para os sericita metarritmitos ferrugi-nosos e os fuchsitita metarritmitos, uma origem sedimentar detrítica parece mais plausível. Em lâmina, tais rochas mostram grãos de quartzo parcialmente arredondados, às vezes conservando filmes de inclusões de óxidos de ferro, que indicam o antigo limite do grão sedimentar. Ademais, ocorre acama-mento gradacional com granulação de-crescente sempre em direção às lâminas argilosas. Representam provavelmente uma deposição cíclica de silte e argilas em águas relativamente profundas, sob ação de correntes de turbidez.

O ferro existente pode ter sido trans-portado sob a forma de minerais de ferro (hematita) detríticos ou como fil-mes em partículas de silte e argila. O quartzo pode ter sido fornecido pelo retrabalhamento de antigas camadas de chert da sequência ultramáfica ba-sal.

A ocorrência de muscovita cromífera (fuchsitita) nos metarritmitos é ainda de explicação mais complexa. Utilizando-se dos trabalhos de Whitmore e Geiher (*in* Anhaeusser, 1971 b), a respeito das condições de formação para as micas cromíferas, podemos concluir a exis-

tência de duas possibilidades, quanto a fonte do Cr: a) Resultante de soluções como produto de fracionamento origi-nal dos constituintes voláteis, oriundos dos magmas; b) lixiviação de rochas ultramáficas portadoras deste elemento e posterior concentração.

Para os níveis portadores de micas ricas em cromo (1,02% de Cr₂O₃) A idéia da lixiviação e posterior concen-tração em estratos sedimentares, nos parece mais lógico, em função dos ar-gumentos já apresentados em favor de uma origem sedimentar detrítica.

O nível de sericita-quartzo xisto da unidade sudoeste do Morro do Níquel, possui origem distinta das rochas sedi-mentares no parágrafo anterior, pois é destituído de estruturas de deposição sedimentar, estando associado com tu-fos félsicos oxidados, metawacke e xis-tos ultramáficos.

Considerando que tais rochas sejam os equivalentes estratigráficos dos seri-cita-quartzo xistos descritos por Anha-eusser (1969), na Unidade basal ultra-máfica do Grupo Onverwacht podemos estabelecer um paralelo genético co-mum para tais rochas. O referido autor mostra que os sericita-quartzo xistos possuem um quimismo (veja Tab. 1) bastante particular, já que são extre-mamente ricos em sílica e alumínio. Além disto sua constante posição estra-tigráfica (intercalado com xistos mag-nesianos basais), e por constituírem-se

em horizontes guias de valor regional, indicam tratar-se de rochas cujo meca-nismo de formação parece ser restrito aos ambientes de *greenstone belts*.

A média de cinco análises dos alum-nous siliceous schists de Jamestown, apresentam SiO₂ 77,58%; Al₂O₃ 16,27%; Fe₂O₃ 0,74%; K₂O 1,65% e Na₂O 1,4%. Amostra do sericita-quartzo xis-to do Morro do Ferro é constituído por: 79,1%; 10,7%; 0,18%; 4,63% e 0,06% respectivamente. O alto grau de correlação química é adicionalmente demonstrado por diagramas triangula-res na Fig. 3. Duas possibilidades gené-ticas são aventadas por Anhaeusser (1971, b), para os horizontes silicosos da base do Grupo Onverwacht: lavas ou um tipo incomum de sedimento muito rico em alumínio. Na Formação Theespruit no vale do Rio Komati, de acordo com Viljoen e Viljoen (1969) os sericita-quartzo xistos, seriam equiva-lentes metamórficos de tufos félsicos e de camadas retrabalhadas de tufos e aglomeradas silicosos.

Por possuir quimismo idêntico e par-ticular (Al₂O₃ + SiO₂ > 91%), mesma mineralogia, idêntica posição estrati-gráfica, sugerimos que sericita-quartzo xisto por nós estudados resultam de efeitos metamórficos de baixo grau so-bre rochas piroclásticas félsicas, inte-restratificadas com os derrames ultra-máficos.

TABELA 1 - Análises Químicas dos Siliceous Aluminous Shists. Rodésia, Jamestown, Barbenlon e Oeste da Austrália, comparadas com rochas similares da Sequência Morro do Ferro.

	+	*				X
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
SiO ₂	90.04	59.93	58.12	71.75	76.74	79.1
Al ₂ O ₃	6.71	26.28	24.45	14.73	15.96	10.7
Fe ₂ O ₃	0.23	0.29	1.31	0.97	0.52	0.18
FeO	0.00	1.64	1.00	1.38	1.10	0.57
MgO	0.00	1.26	2.85	1.75	1.11	0.99
CaO	0.01	0.42	0.23	0.82	0.10	0.10
Na ₂ O	0.00	0.01	0.42	0.23	0.12	0.06
K ₂ O	2.31	1.83	7.92	3.35	2.22	4.63
H ₂ O	1.06	3.72	3.34	1.04	1.44	-
H ₂ O ⁺	0.06	0.32	0.13	0.17	0.08	-
CO ₂	0.00	0.12	0.03	nd	0.01	0.05
TiO ₂	0.05	0.45	0.13	0.25	0.35	1.4
P ₂ O ₅	nd	0.05	nd	0.09	0.03	0.10
MnO	0.01	0.02	0.06	0.04	0.05	0.01
TOTAL	100.60	99.86	99.95	100.00		99.86

(1) Sedimento lufáceo silicoso contendo sericita (Formação Theespruit Viljoen & Viljoen 1969).

(2) Tulo félsico aluminoso (piroclítica) retrabalhado (Formação Theespruit Viljoen & Viljoen 1969).

(3) Mica Xisto, Mina Montezuma, Odzi Gold Belt Rodésia (Swift *in* Anhaeusser, 1971).

(4) Mica Xisto, Mina Montezuma, Odzi Gold Belt Rodésia (Swift *in* Anhaeusser, 1971).

(5) Média de sete xistos silício-aluminosos de cinturões do oeste Australiano (Joplin, 1963).

(6) Sericita-quartzo xisto, 1 Km do entroncamento da estrada M. Níquel - F. Minas da unidade Morro do Níquel (Se-quência Morro do Ferro).

+

- (Fluorescência de raio X).

* - (padrões gravimétricos, volumétricos, colorimétricos e chama fotométrica).

X - (espectrografia óptica e absorção atômica).

FIG. 3 - DIAGRAMAS TRIANGULARES MODIFICADOS DE ANHAEUSSER (1971), MOSTRANDO A SIMILARIDADE DOS TUFOS FELSICOS DE BARBERTON, OESTE AUSTRALIANO, RODÉSIA E O SERICITA QUARTZO XISTO DO MORRO DO FERRO (UNIDADE MORRO DO NÍQUEL).

Cherts Ferríferos

Na Sequência Morro do Ferro ocorrem diversos níveis estreitos (esp. máxima 3m), de rochas ricas em ferro, genericamente classificadas como cherts ferríferos. Caracteristicamente, apresentam bandas alternadas de hematita muito fina, compacta, e quartzo recristalizado. Localmente podem apresentar stilpnomelano e goethita associados às faixas mais ricas em óxidos.

O bandamento e laminações apresentam espessura variável desde 1mm até 5cm, sendo contínuos ou anostomosados. As camadas possuem extensão contínua de até 10Km sendo responsáveis pela sustentação do relevo e do arcabouço estrutural da sequência.

Tais litologias ocorrem em distintas posições estratigráficas; quer relacionadas aos metaritmítos com fuchcita intercalados aos xistos magnesianos básicos, quer em contato direto com tufos e

metabasaltos da unidade Córrego Salvador ou ainda intercaladas com filitos do topo, onde tem maior expressão.

Com relação aos cherts ferríferos bandados, duas associações são distintas: a) vulcânica, relacionada com lavas ultramáficas e máficas, e com produtos piroclásticos. Exemplos deste tipo tem sido mencionados nos Grupos Sebakwian e Bulawayan na Rodésia (Bliss e Stidolph, 1969) e nas assembléias de Pietersburg, Murchison e de Barberton (Anhaeusser e Button, 1976); b) sedimentar, relacionada aos filitos do Morro do Ferro, correspondendo ao principal pacote de formação ferrífera.

De maneira geral os cherts ferríferos situam-se preferencialmente em níveis intercalados com estratos originalmente vulcânicos ou rochas vulcânicas re-trabalhadas, sugerindo uma origem exalativa como fonte para o ferro. A ocorrência dos horizontes ferríferos, associados com sericita-clorita xisto, clorita-cloritóide xisto, produtos originalmente piroclásticos de caráter intermediário a ácido e cherts grafitosos, sugere que tais litologias resultem da complementação de um ciclo vulcânico diferenciado, culminando com emanações ricas em soluções portadoras de ferro.

No entanto a existência de alguns horizontes de cherts ferríferos diretamente em contato com lavas ultramáficas, impede a generalização desta idéia genética. Aventa-se neste caso a existência de períodos distintos de pulsos

ESQUEMA EVOLUTIVO PARA O CINTURÃO VULCANO-SEDIMENTAR DO MORRO DO FERRO

(FORA DE ESCALA)

FIG - 4

O esquema da Figura 4, tenta sintetizar os fenômenos vulcânicos e sedimentares da sequência, mostrando o aspecto cíclico do vulcanismo e os distintos fácies sedimentares.

Ocorrem encaixadas nos xistos magnesianos da Sequência Morro do Ferro, bandas aparentemente concordantes de serpentinitos derivados de harzburgito. No embasamento ocorrem pequenos corpos isolados que acham-se fortemente cizalhados e bastante alterados. O Morro do Níquel é constituído por um corpo de serpentinito intrusivo estando em contato, a nordeste, com a faixa de rochas cataclásticas e a sudoeste com os xistos magnesianos da base do cinturão vulcano-sedimentar. Apresenta-se como um corpo individualizado de forma elíptica cujo eixo maior, de direção NW-SE, coincide com a direção principal da zona de falhamento. Segundo Griffon e Richter (1976) a base do Morro possui 900x400m e o topo de 300x150m. O desnível máximo é de 200m. A importância maior deste corpo de serpentinito reside na jazida de níquel a ele associada e que vem sendo trabalhada desde 1966, com produção de ligas de ferro-níquel e subprodutos.

O principal condicionamento para o *emplacement* do corpo de serpentinito foi a zona de falha. Isto é facilmente

A serpentinização antecedeu ao metamorfismo regional, como mostra a recristalização de clorita em planos paralelos que cortam nitidamente a serpentina.

A composição normativa do serpentinito indica como rocha original um dunito. Entretanto em função das trocas químicas atuantes durante a serpentinização, tal resultado deve ser encarado com reserva, sendo mais conveniente considerar as observações texturais. Elas sugerem que originalmente a rocha tratava-se de um harzburgito, que em razão da destruição do seu *fabric* pelo processo de serpentinização, nos impede de caracterizá-lo como produto de recristalização subsólida, sob condições metamórficas, ou se originalmente a rocha resultou do acúmulo de cristais de olivina e ortopiroxênio, por cristalização fracionada.

A fonte de níquel foi o próprio serpentinito, já que o mesmo possui valores de níquel acima de qualquer outra rocha original, além de existir uma relação direta entre a mineralização e o serpentinito. Os valores de Ni na rocha fresca oscilam em torno de 0,5%. A porção mineralizada possui valores médios entre 1% e 2%, e excepcionalmente atingem 3 a 4% (Griffon e Richter, 1976). A passagem deste horizonte para o serpentinito fresco é progressiva, tendo o saprolito relictos da rocha não alterada.

Embutido no embasamento síalico de fácies metamórfica anfíbolito alto com transição para zonas de migmatização, ocorre o cinturão Morro do Ferro que apresenta associações paragenéticas características da fácies xisto verde ou grau fraco de Winkler (1977). Chama a atenção a existência destes dois compartimentos metamórficos contrastantes: o cinturão de xistos verdes e o embasamento gnáissico migmatítico. Lembrando que a existência destas "ilhas" de rochas de baixo grau em terrenos de alto grau, colocam em dúvida o próprio conceito de que o metamorfismo regional, tenha sua intensidade controlada apenas pela profundidade de soterramento, como é comentado por Anhaeusser *et al.* (1969).

De qualquer forma o baixo grau metamórfico constitui elemento característico para as seqüências de *greens-tone belts*, conforme as próprias pala-

vras de Anhaeusser op. cit. "some of the more distinctive characteristics of the early Precambrian greenstone belts are low grade metamorphism and preservation of original volcanic and sedimentary features, especially away from the granitic contacts".

Paragêneses, Fácies e Grau

Por possuir grande variedade litológica, o cinturão vulcano-sedimentar do Morro do Ferro permite o estabelecimento de diversas associações paragenéticas em função da composição da rocha original. Três feições são críticas na determinação das condições metamórficas imposta na sequência Morro do Ferro.

1. Coexistência clorita (penina)-muscovita em presença de quartzo.
2. A paragênese albita-tremolita, clorita-zoisita/clinozoisita.
3. Presença de cloritóide.

Winkler (1977) considera que a presença estável de penina e muscovita (1) constitui uma paragênese diagnóstica para todo o intervalo de temperatura do metamorfismo de grau fraco. A presença do cloritóide na sequência estudada parece resultar da seguinte reação: pirofilita + clorita (rica em Fe) = cloritóide + quartzo + K₂O.

Estas mesmas condições metamórficas encontram-se amplamente registradas pela associação albita-actinolita-clorita-clinozoisita, dos xistos metabasálticos.

POTENCIALIDADE ECONOMICA

As sequências vulcanogênicas do tipo

greenstone belts distribuídas sobre as porções cratônicas no Canadá, África do Sul, Austrália, Rodésia e Índia são detentoras de importantes jazimentos de Au, Ni, Co, Cu, Zn, Pb e Ag.

Embora estas sequências apresentem-se fisicamente separadas, diversos aspectos geológicos como metamorfismo, tectônica, sucessão estratigráfica e tipos litológicos mostram-se semelhantes. Contudo diferentes filiações magmáticas têm sido reconstituídas para suas lavas, permitindo o reconhecimento de distintos ambientes tectono-magmáticos.

Além disto a ocorrência de tipos específicos de depósitos minerais associados sugerem que nem todo os *greenstones* tiveram as mesmas etapas evolutivas. Assim, a real potencialidade destes terrenos deve normalmente alicerçar-se em estudos comparativos.

Levando-se em consideração a diminuta espessura da sequência Morro do Ferro e a ausência ou reduzida expressão de vulcânicas intermediárias e ácidas, é válido restringir sua potencialidade mineral aos níveis basais da sequência, onde *flows* de lavas peridotíticas constituem os estratos mais favoráveis em conter indícios de mineralização de sulfetos de Cu e Ni. O ouro em zonas de remobilização teoricamente constitui também uma possibilidade.

CONCLUSÕES

O cinturão vulcano-sedimentar acha-se em contato direto com a faixa de rochas cataclásticas. A porção estudada possui 30Km de comprimento por 2,5Km de largura. Apresenta três uni-

dades individualizadas por critérios litológicas e ambientais. Da base para o topo: Unidade Morro do Níquel, Unidade Córrego Salvador e Unidade Morro do Ferro.

A base é constituída por xistos magmáticos de composição ultrabásica, alternada com sedimentos tufogênicos, *iron formation*, *metawacke*, meta-ritmitos e chert. A porção média da sequência, Unidade Córrego Salvador, é caracterizada por epidoto-tremolita-clorita xisto, chert ferrífero e rochas sedimentares derivadas do retrabalhamento de vulcânicas. O topo do cinturão é de caráter predominantemente sedimentar, com filitos, cloritóide xistos, chert ferrífero e níveis lenticulares de metacalcário.

O metamorfismo regional atuante na sequência vulcano-sedimentar, aparentemente desenvolveu-se segundo condições de pressão intermediária situando-se no fácies xisto verde, zona da clorita. A tectônica atuante é extremamente enérgica, caracterizada por isoclinais apertadas com planos axiais verticalizados. Pelo menos três etapas distintas de deformação acham-se registradas em *kinks* e crenulações. O trend geral das lineações possui direção noroeste.

A unidade Morro do Níquel, por conter *flows* ultrabásicos constitui a porção do cinturão teoricamente mais favorável em conter mineralizações, principalmente sulfetadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à METAIS DE MINAS GERAIS S/A, pelo apoio recebido durante os trabalhos de campo.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. - 1976 - Estruturas do Pré-Cambriano Inferior Brasileiro. XXIX Congr. Bras. Geol., Ouro Preto (Resumo dos Trabalhos).
- ANHAEUSSER, C.R., MASON, R., VILJOEN, M.J. e VILJOEN, R.P. - 1969 - Reappraisal of some Aspects of Precambrian Shield Geology. Geol. Soc. Amer. Bull., v.80, pp. 2175-2200.
- ANHAEUSSER, C.R. - 1971 - The Barberton Mountain Land South Africa: A guide to the understanding of the archean geology of Western Australia. - Spec. Publ. 3, Geol. Soc. Aust., pp. 103-119.
- ANHAEUSSER, C.R. - 1971 - The geology of the Jamestown Hills area of the Barberton Mountain Land, South Africa. Inform. Circ. N° 64, Econ. Geol. Res. Unit. Witwatersrand, 44p. Johannesburg.
- ANHAEUSSER, C.R. e BUTTON, A. - 1976 - A Review of Southern African Stratiform ore Deposits their Position in Time and Space. In Hans-book of strata-bound and stratiform ore Deposits. K.H. Wolf, Eds. Sci. Pub. Com. Amsterdam, v5, 319 pp.
- BARAGAR, W.R. e McGlynn, J.C. - 1976 - Early Archean basement in the Canadian shield: a review of the evidence, Geol. Surv. Can., Paper 76-14, 20 p.
- BRANALISE, L.A., SOUZA, A.A., QUEIROZ, E.T. VIANNA, I.A., SILVA, J.N. e NERY J.R.D. - 1-71 - Projeto Folha do Rio de Janeiro. Folha Passos - DNPM-CPRM - Rio de Janeiro (Inédito).
- BLISS, N.W. e STIDOLPH, P.A. - 1969 - The Rhodesian basement complex: review. Spec. Publ. Geol. S. Afr. Z: 305-335.
- COSTA, L.A.M., PORTELLA, A.C.P., NILSON, A.A., VALE, C.R.P., MARCHETTO, C.M.L., SANTOS E.L. DOS, MENEZES, G., INDA, H.A.V., STERN, I.H., MARCHETTO, M., BATISTA, M.B., FRATIN, O., MOSSAMANN, R., OLIVEIRA, T.F. DE E SILVA, W.G. DA - 1976 - Projeto Leste do Tocantins - Oeste do São Francisco - Relatório Final Fase V. PROSPEC. - DNPM - CPRM. 300p. Rio de Janeiro.
- DANNI, J.C.M. e RIBEIRO, C.C. - 1978 - Caracterização da Sequência Vulcano-Sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás, Anais XXX Congr. Bras. Geol. pp. 582-596, Recife.
- DIMROTH, E. e CHAUVEL, J.J. - 1973 - Petrography of the Sokomon Iron Formation in part of the central Labrador trough, Quebec, Canada, Geol. Soc. Amer. Bull., v84, pp. 111-134.
- GLIKSON, A.Y. - 1976 - Stratigraphy and evolution of primary and secondary greenstones: significant of data from shields of the southern hemisphere in the Early History of the Earth. B.F. Windley, ed ohn Wiley Sons, pp. 257-277.
- GRIFFON, J.C. e RICHTER, H. - 1976 - Geologia, Mineração e Tratamento do minério de níquel do Morro do Níquel - MG. Geologia e Metalurgia V.40, pp. 387-405.
- JOPPLIN, G.A. - 1963 - Chemical Analyses of Australia Rocks. Part. I: Igneous and metamorphic. Bull. 65, Bureau of. Min. Res. Geol. and Geophys. Commonwealth of Australia, pp. 446.
- MASCARENHAS, I. de F. - 1973 - A geologia do Centro-Leste do Estado da Bahia. Anais XXVII Congr. Bras. Geol., v.2, Aracaju, pp. 35-36.
- MORAES, L.J. - 1935 - Níquel no Brasil - DNPM, Bol. n° 9, Rio de Janeiro, 168 pp.
- PYKE, D.R., NALDRETT, A.J. e ECKSTRAND, A.R. - 1973 - Archean ultramafic flows in Munro township, Ontario, Canada, Miner. 12, pp. 509-519.
- ROUTHIER, P. - 1963 - Les Gisements Métallifères - Géologie principe de recherche. Masson edit. Paris - 1282 pp.
- SABOIA, L.A. - 1979 - Os greenstone Belt de Crixás e Goiás-Go: Soc. Bras. Geol. Núcleo Centro Oeste, Bol. Inf. N° 9 - pp. 43-72.

TRESCASES, J.J. e OLIVEIRA, S.M.B. - 1978 - Alteração dos Serpentinóis de Morro do Niquel (MG). Anais XXX Congr. Bras. Geol. V.4 pp. 1955-1679. 1955-1979

VIJOEN, M.J. e VIJOEN, R.P. - 1969 - Evidence for the existence of a mobile extrusive peridotitic magma from the komati Forma-

tion of the Onverwacht group. Geol. Soc. South Africa Spec. Pub. 2, Upper Mantle Project. pp. 87-112.

WINDLEY, B.F. e BRIDEGWATER - 1971 - The evolution of Archean low and high grade terrains. Spec. Publis. Geol. Soc., Just., 3, p. 33-46.

SCHORSCHER, H.D. - 1976 - Polimetamorfismo do Pré-Cambriano na Região de Itabira, Minas Gerais, Brasil. XXIX Congr. Bras. Geol. (resumo dos trabalhos), pp. 194-195

WINKLER, H.G.F. - 1977 - Petrogênese das rochas metamórficas. Tradução: Carlos Burger Júnior, Edgard Blucher, Porto Alegre, 243pp.