PETROLOGIA DAS LAVAS ULTRABÁSICAS E BÁSICAS DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR MORRO DO FERRO. FORTALEZA DE MINAS (MG)

NOEVALDO ARAUJO TEIXEIRA* e JOSÉ CARUSO MORESCO DANNI**

ABSTRACT In this work the petrology of the Archean Morro do Ferro volcano-sedimentary sequence is being defined. The sequence is located in southwest part of the São Francisco Craton in the vicinity of the Fortaleza de Minas Village. The basal part of the Greenstone belt of Morro do Ferro is constituted of ultramafic flows with spinifex texture intercalated with aluminous tuffs, and iron formation. The medium part is formed of massive basaltic flows, now represented by tremolite-chlorite-epidote schist associated with reworked volcanic rocks, iron formation and talc schist lenses. The petrological studies indicated a fractionation trend which starts with rocks of komatiitic affiliation (peridotite, pyroxenite, basalt) to rocks of tholeiitic composition (basalt). The fractionation is characterized by a decrease in MgO content, a constant $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ration, that reflects the olivine crystallization in the initial stages, followed by clinopyroxene and plagioclase.

INTRODUÇÃO Pretende-se traçar a evolução petrológica da sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, enquadrando suas rochas dentro dos grupos magmáticos já conhecidos e em seguida, com base em parâmetros das rochas vulcânicas, comparar com as *suites* arqueanas do Canadá, África do Sul e Austrália. As frações fêlsicas do vulcanismo não foram analisadas em razão da inexistência de amostras satisfatórias, o que não permitiu a completa caracterização do "trend" de diferenciação. Por isso, não há nos diagramas de IS, AFM, etc. curvas completas.

As litologias analisadas sofreram pelo menos três etapas de deformações distintas, que foram acompanhadas por dois períodos de recristalizações metamórficas. Assim, as interpretações petrológicas devem ser consideradas com cautela, principalmente com respeito às variações de Na_2O e K_2O , pois há possibilidade de que o sistema envolvido não tenha se comportado isoquimicamente. Outro fator prejudicial para uma correta interpretação do estudo é a acentuada alteração intempérica das rochas da sequência. Em superfície é praticamente impossível uma amostragem sistemática.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA A sequência vulcano-sedimentar Morro do Ferro, localiza-se na porção sudoeste do Estado de Minas Gerais, a oeste das cidades de Itaú e Fortaleza de Minas, distando 360 km de Belo Horizonte pela MG-056. É constituída na base por derrames de lavas ultrabásicas, possuindo localmente textura *spinifex* fina, caracte-

rística de topo dos derrames descritos por Arndt *et al.* (1977), no *Abitibi belt*, intercalações regulares de precipitados químicos como chert, chert ferrífero, rochas dedríticas, níveis tufogênicos e vulcânicas ácidas retrabalhadas. A porção média compreende lavas básicas, lentes de rochas ultrabásicas, ritmitos e chert ferrífero. O topo é constituído por um espesso pacote sedimentar representado por filitos localmente grafitosos e chert ferrífero (Fig. 1).

Tal sequência apresenta metamorfismo do fácies xisto verde, estando embutida no embasamento siálico constituído por ortognaisses leucocráticos, migmatitos, zonas lineares de rochas cataclásticas e corpos graníticos, componentes da porção côncava meridional do Craton São Francisco. A análise da estratigrafia, intensidade do metamorfismo, tipos litológicos, texturas vulcânicas preservadas e posicionamento indicam que tal unidade corresponde a "raiz" de um *greenstone belt* (Teixeira e Danni, no prelo). A porção estudada possui 30 km de extensão por 3 km de largura, com espessura máxima de 700 m. Schmidt e Fleischer (1978), indicam que tais rochas se estendem por mais de 100 km, no sentido sudeste.

ANÁLISES QUÍMICAS A Tab. 1 contém as análises e suas respectivas normas. O estado de oxidação primitivo não foi corrigido, pois a premissa de um conteúdo de Fe_2O_3 — padrão poderia mascarar uma nova filiação magmática. Conclui-se que as primitivas rochas ultramáficas teriam como máficos principais o diopsídio, hiperstênio, olivina e magnetita, atual-

* Metais de Goiás S/A — METACO — Rua 68 N.º 727 — Goiânia (GO)

** Depto. de Geociências — Universidade de Brasília — Brasília (DF)

Figura 1—

mente transformados em paragêneses metamórficas, constituídas sobretudo por tremolita-actinolita e clorita. A destruição do plagioclásio cálcico originou epidoto, calcita e albita. O titânio liberado dos piroxênios, cristalizou como titanita e ilmenita. Os serpentinitos são apreciavelmente ricos em MgO, pobres em SiO₂, TiO₂, CaO e Na₂O.

Chama a atenção, o fato de que os xistos ultramáficos possuem significantes quantidades de ensta-

tita e plagioclásio normativos, embora estes minerais não sejam constatados em lâmina. Tal fato também ocorre nos *flows* ultrabásicos de Munro como mostra Pyke *et al* (1973). A explicação sugerida pelo autor envolve a cristalização primária de piroxênio rico em alumínio. No cálculo da norma parte do cálcio do piroxênio é convertido em moléculas de anortita, possibilitando em consequência a conversão de parte do diopsídio em enstatita.

Tabela I – Análises químicas e normas

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	45.50 (49.78)	49.00 (51.02)	43.20 (45.85)	45.40 (47.30)	47.90 (48.99)	45.50 (48.41)	48.50 (49.81)	48.30 (50.63)
Al ₂ O ₃	2.80 (3.06)	9.40 (9.78)	2.90 (3.07)	5.70 (5.93)	4.80 (4.90)	9.20 (9.79)	13.40 (13.76)	16.70 (17.50)
Fe ₂ O ₃	7.50 (8.20)	0.93 (0.96)	3.99 (4.23)	4.10 (4.27)	3.45 (3.52)	4.50 (4.78)	3.82 (3.92)	4.40 (4.61)
FeO	4.60 (5.03)	8.70 (9.05)	8.07 (8.56)	9.99 (10.40)	9.13 (9.33)	6.50 (6.91)	7.99 (8.20)	6.50 (6.81)
MnO	0.00 (0.00)	0.17 (0.17)	0.17 (0.18)	0.23 (0.23)	0.22 (0.22)	0.00 (0.0)	0.18 (0.18)	0.00 (0.00)
MgO	27.30 (29.87)	17.20 (17.90)	27.10 (28.76)	18.20 (18.96)	18.40 (18.81)	17.50 (18.62)	11.50 (11.81)	5.40 (5.66)
CaO	3.20 (3.50)	9.00 (9.37)	7.10 (7.53)	10.40 (10.83)	11.80 (12.06)	9.90 (10.53)	7.70 (7.90)	9.20 (9.64)
Na ₂ O	0.01 (0.01)	0.22 (0.22)	0.70 (0.74)	0.51 (0.53)	0.44 (0.45)	0.08 (0.08)	3.17 (3.25)	2.71 (2.84)
K ₂ O	0.05 (0.05)	0.55 (0.57)	0.05 (0.05)	0.09 (0.09)	0.37 (0.37)	0.19 (0.20)	0.09 (0.09)	0.35 (0.36)
TiO ₂	0.40 (0.43)	0.55 (0.57)	0.63 (0.66)	0.87 (0.90)	0.93 (0.95)	0.52 (0.55)	0.85 (0.87)	1.60 (1.67)
P ₂ O ₅	0.03 (0.03)	0.10 (0.10)	0.10 (0.10)	0.10 (0.10)	0.10 (0.10)	0.08 (0.08)	0.10 (0.10)	0.22 (0.23)
CO ₂	—	0.05	0.05	0.05	0.05	—	0.05	—
P.F.	8.50	3.77	5.96	4.19	2.30	4.30	2.60	2.80
TOTAL	99.89	99.86	100.31	100.22	100.12	98.27	100.01	98.18

	1	2	3	4	5	6	7	8
Ilmenita	0.76 (0.84)	0.91 (0.95)	1.06 (1.19)	1.52 (1.59)	1.67 (1.62)	0.91 (0.96)	1.67 (1.72)	3.04 (3.24)
Ortoclásio	0.00 (0.00)	2.78 (2.92)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	2.22 (2.15)	1.10 (1.16)	0.00 (0.00)	1.66 (1.74)
Albita	0.00 (0.00)	1.57 (1.64)	5.76 (6.47)	4.19 (4.40)	3.66 (3.55)	0.52 (0.55)	26.72 (27.54)	22.53 (24.01)
Anortita	7.50 (8.30)	23.35 (24.52)	4.72 (5.30)	13.06 (13.76)	10.00 (9.70)	24.18 (25.67)	22.24 (22.92)	32.52 (34.66)
Corindon	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Magnetita	10.67 (11.43)	1.16 (1.21)	0.00 (0.00)	5.80 (6.10)	4.87 (4.72)	6.49 (6.89)	5.56 (5.73)	6.26 (6.67)
Hematita	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
Wolastonita	3.49 (3.85)	8.81 (9.95)	12.64 (14.20)	16.00 (16.82)	20.18 (19.59)	10.32 (10.95)	6.61 (6.81)	7.42 (7.91)
Enstatita	2.90 (3.21)	6.10 (6.40)	9.40 (10.56)	11.20 (11.77)	14.40 (13.98)	7.90 (8.38)	4.50 (4.63)	4.10 (4.37)
Ferrossilita	0.13 (0.14)	1.98 (2.07)	1.98 (2.22)	3.43 (3.60)	3.06 (3.84)	1.32 (1.40)	1.58 (1.62)	3.03 (3.23)
Hiperst. (Mg)	63.30 (70.09)	34.20 (35.92)	11.30 (12.69)	20.40 (21.45)	31.60 (30.67)	34.70 (36.84)	11.60 (11.95)	13.40 (13.62)
Hiperst. (Fe)	0.13 (0.14)	11.74 (12.23)	2.24 (2.51)	6.33 (6.65)	8.84 (8.58)	5.94 (6.30)	4.22 (4.35)	2.64 (2.81)
Forsterita	1.40 (1.55)	1.89 (1.98)	32.90 (36.96)	9.66 (10.15)	0.00 (0.00)	0.77 (0.81)	8.82 (9.09)	0.00 (0.00)
Fayalita	0.00 (0.00)	0.71 (0.74)	7.54 (8.47)	3.46 (3.63)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	3.46 (3.56)	0.00 (0.00)
Quartzo	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	1.62 (1.57)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	7.20 (7.67)

- (1) – Clorita-tremolita-xisto (Unidade Morro do Níquel)
 (2) – Epidoto-clorita-tremolita xisto (Unidade Morro do Níquel)
 (3) – Clorita-tremolita-xisto (Unidade Morro do Níquel)
 (4) – Tremolita-actinolita xisto (Unidade Morro do Níquel)
 () – Valores (recalculados para 100%)

- (5) – Serpentina-tremolita xisto (Unidade Morro do Níquel)
 (6) – Clorita-tremolita xisto (Unidade Morro do Níquel)
 (7) – Epidoto-tremolita-clorita xisto (Unidade Córrego do Salvador)
 (8) – Epidoto-clorita-actinolita xisto (Unid. Córrego do Salvador)
 Análises Geoquímicas por Espectrografia ótica Absorção Atômica e Fluorescência de Raios X Laboratório Geoquímico – GEOLAB

DEFINIÇÃO DO GRUPO DE DIFERENCIAÇÃO

A série estudada, enquadra-se predominantemente no domínio correspondente às rochas toleíticas, transicionando para as seqüências basálticas ricas em alumina, evidenciadas pelo diagrama SiO₂/Na₂O + K₂O de Kuno (*in* Hess & Poldervaart, 1968) (Fig. 2). Foram plotados no diagrama análises das lavas básicas e ultrabásicas. Locamos também lavas de composição

ultrabásica de Alpinópolis (Biondi *et al*, 1977, inédito) que estão no mesmo contexto geológico da seqüência basal do Morro do Ferro (Fig. 2).

TENDÊNCIAS DA DIFERENCIAÇÃO Para isso, utilizou-se o índice de solidificação (IS) de Kuno (1968, op. cit), que constitui um bom índice de fracionamento magmático para rochas ricas em minerais

Figura 2 – Diagrama sílica/alcalinos com os campos das séries toleíticas, transicionais e alcalinas. Rochas da seqüência Morro do Ferro, comparada com as de Munro. mod. Arndt *et al.* (1977) e Alpinópolis (Biondi *et al.* 1977 Inédito)

máficos. Os baixos valores de IS no presente estudo, corresponderiam aos líquidos mais diferenciados. Na seqüência Morro do Ferro, tal comportamento pode ser constatado pelos gráficos da Fig. 3.

As porcentagens de MgO decrescem regularmente em direção aos termos mais diferenciados da série, caracterizando o processo de diferenciação controlado, sobretudo pelo fracionamento da olivina. Nos termos básicos, o comportamento do MgO indicaria uma maior participação na cristalização do piroxênio e uma diminuição no conteúdo de olivina. A variação do IS, situa-se entre 25 e 78, para basaltos e lavas ultrabásicas, respectivamente.

Em relação aos teores de Na_2O , K_2O e Al_2O_3 , a série é caracterizada pelo enriquecimento destes óxidos, indicando uma participação mais abundante de feldspatos, que são derivados do fracionamento dos líquidos residuais da cristalização de olivina e piroxênio. Embora os teores de K_2O sejam crescentes, são valores extremamente baixos.

O comportamento do titânio é marcado pela cristalização, principalmente de ilmenita e talvez de piroxênio. Na paragéneses metamórfica atual, acha-se expresso como titanita. A diferenciação e enriquecimento nos termos mais básicos da série é bem evidente.

A distribuição de FeO, MnO, Fe_2O_3 , apresenta um crescimento rumo aos termos mais diferenciados, possuindo um ponto de inflexão não muito evidente. A distribuição do cálcio não se mostra adequada para interpretações. Quando comparamos as curvas obtidas com as linhas clássicas de diferenciação, observamos inúmeras variações e dispersão de alguns pontos nos gráficos das rochas arqueanas. Como conclusão, consideramos tais resultados bastante precários, sugerindo inclusive que não se utilize tais métodos em suites de *greenstone belt*, sobretudo aqueles que mostram metamorfismo mais enérgico.

Figura 3 – Repartição dos óxidos na série Morro do Ferro. Prováveis Trends (I. S. índice de Kuno in Hess e Poldervoart, 1968)

Figura 4 – Apresenta as linhas de diferenciação clássicas e comparação com as lavas arqueano. Há uma contínua evolução dos peridotitos, piroxenitos e basaltos

DIAGRAMA AFM Neste diagrama (Fig. 4), as rochas da seqüência evidenciaram um *trend* de diferenciação não muito evidente, evoluindo dos termos toleíticos, ricos em FeO e MgO, para porções transitacionais dos toleitos e as séries calco-alcálinas. Além disto, pode-se concluir a existência de um aumento progressivo de óxido de ferro e álcalis, com diminuição nos teores de MgO. Tal tendência, acha-se refletida pela fixação do Mg, Fe e Ca no piroxênio, olivina e magnetita, cristalizados nos estágios iniciais da diferenciação. O progressivo enriquecimento em álcalis permitiu a cristalização do feldspato, como mostra a migração dos pontos analisados em direção ao pólo $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Os teores Na_2O , TiO_2 , MgO e Al_2O_3 são os que mais nitidamente separam os termos básicos dos ultrabásicos. As rochas de Munro, com exceção de algumas alteradas (ricas em álcalis), mostram o mesmo comportamento.

COMPARAÇÃO COM AS SEQÜÊNCIAS ARQUEANAS A constatação de que as lavas arqueanas mereciam ser quimicamente individualizadas

como um novo grupo magmático, surgiu com os trabalhos de Viljoen e Viljoen (1969). Caracterizam tais rochas como *komatiites*, dotando-lhes das seguintes características químicas: $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$, $\text{MgO} > 9\%$ e $\text{K}_2\text{O} < 0,9\%$. Brooks e Hart (1974) propõem uma redefinição para o termo, uma vez que os simples parâmetros químicos são insuficientes para diferenciar peridotitos komatiíticos de qualquer outra classe de rocha, com quantidade significantes de clinopiroxênio ou anfibólio cálcico. Os parâmetros químicos utilizados por estes autores são $\text{MgO} > 9\%$, $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1$, $\text{K}_2\text{O} < 0,9\%$, $\text{TiO}_2 < 0,9\%$. Arndt *et al* (1977) apresentam, como critérios de distinção do caráter komatiítico, a ocorrência de lavas não cumuladas de composição ultrabásica portadoras de texturas *spinifex*; a baixa relação Fe/Mg quando comparada com Al_2O_3 ; baixo $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$; e alto MgO, NiO e Cr_2O_3 .

A seqüência de xistos magnesianos da unidade Morro do Níquel, por possuir texturas *spinifex* e alta relação $\text{FeO}^*/\text{FeO}^* + \text{MgO}$ e baixo $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, corresponde perfeitamente aos *flows* ultrabásicos descri-

Figura 5 – Diagrama das lavas Toleíticas e Komatiíticas de Munro Township, comparadas com lavas da sequência Morro do Ferro. Notar o *trend* contínuo: Peridotitos → Piroxenitos → Basaltos (Toleíticos e Komatiíticos) modelo de Arndt *et al.* (1977)

tos nas seqüências vulcano-sedimentares arqueanas que serviram de padrões na definição da série komatiítica. Em razão disto, é apresentado um conjunto de gráficos comparativos, com suites vulcânicas de outras regiões. Duas principais conclusões emergem da comparação dos diagramas químicos de suites komatiíticas: a) os xistos magnesianos correspondem a derrames peridotíticos e piroxeníticos de filiação komatiítica; b) as lavas máficas, representadas por epidoto-tremolita-clorita xisto do Córrego Salvador, possuem quimismo toleítico e komatiítico. Outro aspecto importante a ser ressaltado, é que o estudo do quimismo das rochas evidenciou claramente a consanguineidade entre as porções ultrabásicas e básicas, uma vez que não há descontinuidade composicional entre os grupos litológicos analisados.

O diagrama $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3$ (Fig. 5), evidencia que o *trend* é essencialmente caracterizado por um acréscimo de MgO numa razão mais ou menos constante de $\text{CaO/Al}_2\text{O}_3$, refletindo a importância do fracionamento da olivina. Sugere, ainda, que os piroxenitos e basaltos resultam desde fracionamento, o qual é acompanhado por uma maior participação do clinopiroxênio e plagioclásio. Embora os valores da Sequência Morro do Ferro estejam mais dispersos, o processo parece ser o mesmo que o estabelecido em Munro por Arndt *et al.* (1977).

A Fig. 6 apresenta diagrama triangular ACM, onde estão locados os valores de rochas ultramáficas de algumas seqüências arqueanas (Nesbitt, 1971). A principal conclusão, embora estas rochas se apresentem serpentinizadas, é de que o *trend* de diferenciação se distancia linearmente do pólo MgO, refletindo progressiva participação da cristalização do clinopiroxênio e subtração de olivina no curso da diferenciação.

O diagrama $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$ da Fig. 7, compara os komatiitos e toleitos de Munro com os da seqüência estudada. Os komatiitos possuem relação $\text{FeO}^*/(\text{FeO}^* + \text{MgO})$ mais baixa do que os toleitos de conteúdos similares de Al_2O_3 . Os valores obtidos para as rochas estudadas, distribuem-se em vários campos, em razão da dispersão na coordenada $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$, que deve refletir a atuação do metamorfismo sobre tais rochas.

De todos os diagramas, talvez o representado na Fig. 8, seja o mais significativo, visto que a imobilidade do titânio durante os processos metamórficos permite considerar seus valores como representativos das rochas originais. Os teores de TiO_2 são sempre maiores para os toleitos, quando comparados com os komatiitos. As análises das porções ultramáficas, projetam-se no campo dos komatiitos. As rochas básicas variam desde komatiito até toleito.

Figura 6 – Diagramas mostrando os trends de fracionamento das rochas ultrabásicas de diversas áreas arqueanas, comparadas com os xistos magnesianos da unidade Morro do Níquel modificado de Nesbitt (1971)

Figura 7 – Al_2O_3 vs. $FeO^+ / (FeO^+ + MgO)$ mostrando a composição dos Komatiitos e toleitos de Munro e da sequência Morro do Ferro. Mod. Arndt *et al.*, (1977)

Figura 8 — TiO_2 vs. SiO_2 contraste de composição das lavas Komatiíticas e Toleíticas de Munro com basaltos, peridotitos e piroxenitos do Morro do Ferro. Mod. Arndt *et al.*, (1977)

CONCLUSÕES O vulcanismo do cinturão apresenta da base para o topo, um *trend* de diferenciação interrompido pela deposição do mais espesso horizonte sedimentar.

A base é formada por corridas de lavas de composição ultrabásica e estratos químicos silicosos, depositados em períodos de quiescência vulcânica. Os derrames ultrabásicos, (peridotitos e piroxenitos), que constituem a Unidade Morro do Niquel, possuem texturas *spinifex* e quimismo komatiítico.

Manifestações de vulcanismo básico, acha-se registrado na unidade intermediária, onde se verifica recorrência do vulcanismo ultrabásico em escala res-

trita. Estes basaltos possuem filiação komatiítica: $MgO = 11,81$; $CaO/Al_2O_3 = 0,57$; $K_2O < 0,09$; $TiO_2 = 0,85$ e toleítica $MgO = 5,2$; $Ca/Al_2O_3 = 0,95$; $TiO_2 = 1,6$.

O fracionamento magmático evidenciado pela seqüência, demonstra a importância da cristalização precoce de olivina, seguida do clinopiroxênio e enriquecimento progressivo em álcalis, e conseqüente cristalização de feldspatos.

Agradecimentos Os autores agradecem a Metais de Minas Gerais S/A pelo apoio durante os trabalhos de campo e realização das análises.

BIBLIOGRAFIA

- ARNDT, N. T.; NALDRETT, A. J. e PYKE, D. R. — 1977 — Komatiitic and Iron-rich Tholeiitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario. — *Journal of Petrology* **18** (2): pp. 319-369.
- BIONDI, J. C.; SCHRÄNCK, A.; PINHEIRO, J. C. F. — 1978 — Basitos e ultrabasitos do Espinhaço meridional e região sul de Minas — Relatório Interno da METAMIG S/A. (inédito).
- BROOKS, C. e HART, S. R. — 1974 — On the significance of komatiite, *Geology*, 2 pp. 107-110.
- HESS, H. H. e POLDERVAART, A. — 1968 — The Poldervaart treatise on rocks of basaltic Composition. — John Wiley e Sons, 2, pp. 623-688.
- NESBITT, R. W. — 1971 — Skeletal crystal forms in the ultramafic rocks of the Yilgarn Block, Western Australia: Evidence for and archaean ultramafic liquid. J. E. (ed.). *Geol. Soc. Aust. Spec. Publ. n.º 3*, pp. 331-347.
- PYKE, D. R.; NALDRETT, A. J. e ECKSTRAND, A. R. — 1973 — Archaean ultramafic flows in Munro Township, Ontario. *Can. Miner.* **12**, pp. 509-519.
- SCHMIDT, E. e FLEISCHER, R. — 1978 — Estilo estrutural do Precambriano no sudeste de Minas Gerais. *Anais do XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, **1**, pp. 431-433.
- TEIXEIRA, N. A. e DANNI, J. C. M. — 1979 — Geologia da raiz de um Greenstone belt na porção sudoeste do Craton São Francisco (no prelo).
- VILJOEN, M. J. e VILJOEN, R. P. — 1969 — Evidence for the existence of a mobile extrusive peridotitic magma from the komatiitic formation of the Onverwacht group. *Geol. Soc. Spec. Publ. 2*, Upper Mantle Project, pp. 87-112.