

GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA DOS DIQUES MÁFICOS PRECAMBRIANOS DO
COMPLEXO METAMÓRFICO BONFIM SETENTRIONAL, REGIÃO MERIDIONAL DO
CRATON DO SÃO FRANCISCO, BRASIL

Carneiro, M.A. (1); Teixeira, W. (2)

(1) Degeo/EM/UFOP, Ouro Preto, Brasil.

(2) DGG/IG/USP, São Paulo, Brasil.

RESUMO

Quatro gerações de diques máficos, com diferentes graus de recristalização metamórfica fazem parte da seqüência litoestratigráfica do Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional e estão relacionadas a diferentes fases de sua evolução geológica. Estes diques mostram idades K/Ar a partir do Proterozóico Inferior, mas algumas destas geração estão relacionadas à evolução arqueana do complexo. Neste caso, é significativamente contrastante as características geoquímicas e geológicas gerais das suítes supostamente arqueanas (e.g. Anfibolitos Paraopeba e Anfibolitos Candeias) com aquelas do Proterozóico (e.g. Metadiabásios Conceição de Itaguá e Diabásios Santa Cruz).

INTRODUÇÃO.

O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (CMBS) é um segmento de crosta continental arqueana que aflora a oeste da Serra da Moeda e a Sul da Serra dos Três Irmãos (Figura 1), na região conhecida com Quadrilátero Ferrífero (QF), nos domínios do Craton do São Francisco Meridional (CSFM). Este complexo é constituído por variados tipos de rochas ígneas e metamórficas (Herz 1970, Carneiro 1992a, Carneiro 1992b), que compreendem, a princípio, oito unidades litoestratigráficas (Carneiro 1992a, Carneiro 1992b, Carneiro et al. 1993). Neste complexo, assim como em toda porção CSFM, ocorrem diversos enxames de diques máficos, com variados graus de recristalização metamórfica (e.g. Teixeira et al. 1985; Teixeira et al. 1988, Teixeira & Figueiredo 1991). Geralmente, estes enxames têm mostrado idades radiométricas K/Ar a partir do final do Proterozóico Inferior (e.g. Teixeira et al. 1988). Todavia, conforme pode ser observado a partir do CMBS, algumas gerações de diques máficos estão relacionadas aos primórdios da evolução crustal desta região, ocorrida principalmente no Arqueano Superior (e.g. Anfibolitos Paraopeba e Anfibolitos Candeias), enquanto que os Metadiabásios Conceição de Itaguá e Diabásios Santa Cruz estão ligados à sua evolução proterozóica (Carneiro & Teixeira 1992, Machado & Carneiro 1992, Carneiro et al. 1993).

DIQUES MÁFICOS DO CMBS.

Os Anfibolitos Paraopeba (AP) são rochas melanocráticas, muito foliadas, de granulação média, que afloram como diques rompidos, boudins ou fragmentos variados no interior dos Gnaisses Alberto Flores (Carneiro 1991, Carneiro 1992b). A idade aparente K/Ar destes anfibolitos, obtida a partir de suas hornblendas, varia de 2157 ± 80 a 1991 ± 46 Ma. (Carneiro 1992b). Todavia, a julgar pelas idades U/Pb em zircão das suas encaixantes (Gnaisses Alberto Flores), e por aquelas referentes ao último evento tectônico termal de fácies anfibolito

da região, determinado a partir de zircões e titanitas dos Tonalitos Samambaia (Carneiro 1992b, Machado & Carneiro 1992), o magmatismo e o protólito destes anfibolitos, estão relacionados ao Arqueano Superior. Os **Anfibolitos Candeias (AC)** são rochas melanocráticas, eqüigranulares de granulação média, com blastofenocristais de plagioclásio, que afloram sob a forma de diques por todo **CMBS**. A idade aparente K/Ar dos **AC**, obtida a partir de suas hornblendas, acusa valores da ordem de 1707 ± 64 Ma. Entretanto, a exemplo dos **AP**, acredita-se o protólito e o metamorfismo original destas rochas estejam relacionados ao grande evento tectônico termal da região, ocorrido há 2,78 Ga atrás (Carneiro 1992b, Machado & Carneiro 1992, Carneiro et al. 1993). Os **Metadiabásios Conceição de Itaguá (MCI)** afloram por todo **CMBS**, em diques de variadas espessuras e dimensões, apresentando rochas melanocráticas, faneríticas, eqüigranulares ou porfiríticas, com fenocristais centimétricos de plagioclásio. A idade aparente K/Ar destes metadiabásios, obtidas a partir de suas hornblendas acusa valores da ordem de 1006 ± 43 Ma. Este valor coaduna-se com uma idade U/Pb de 906 ± 2 Ma, encontrada por Machado et al. (1989), a partir de zircão e badeleíta de um magmatismo semelhante no âmbito do **CSFM**. Assim sendo, a idade encontrada pode ser interpretada como a provável época da cristalização ígnea **MCI**. Os **Diabásios Santa Cruz (DSC)** estão amplamente disseminados por todo **CMBS**, aflorando em estreitos diques, geralmente muito alterados, e constituídos por rochas melanocráticas, não foliadas, afaníticas a faneríticas de granulação fina. A idade radiométrica dos **DSC**, no âmbito do **CMBS**, ainda não foi determinada. Mas extrapolações com rochas petrograficamente semelhantes, de outros pontos do **QF** (e.g. Teixeira et al. 1988, Silva et al. 1992) sugerem que este magmatismo está relacionado ao final do Proterozóico Superior.

LITOGEOQUÍMICA.

Quimicamente, os **AP** têm uma composição compatível com aquela dos basaltos tholeíticos (Carneiro 1992b). Por suas razões Nb/Y mais elevadas, estas rochas classificam-se na interface entre os basaltos subalcalinos e andesitos (Figura 2), contrastando com os **AC**, que têm um caráter mais andesítico realçado por suas menores razões Nb/Y versus Zr/TiO₂. Os **AP** também mostram, em relação aos **AC** teores médios distintos de SiO₂ (49,73%) e MgO (4,9 a 7,8%). Os **AC** têm teores médios de SiO₂ da ordem de 50,10% e o MgO varia de 3,1 a 6,4%. O padrão geoquímico médio dos elementos incompatíveis destas duas suítes é muito semelhante (Figura 3) e caracterizado por anomalias negativas de Ba e P e positivas de Y. Outra semelhança entre estas duas suítes está relacionado ao padrão geoquímico médio de elementos de terras raras dos (Figura 4) que mostra-se pouco fracionado ($La_N/Yb_N=2,1$) e assemelha-se ao padrão dos tholeítos arqueanos do tipo TH2^N (Figura 4) de Condie (1981). Contudo, os **AP** mostram um fracionamento ligeiramente mais pronunciado em terras raras leves ($La_N/Sm_N=1,5$) e um padrão mais achatado em terras raras pesadas ($Gd_N/Yb_N=1,0$). Os **AC** têm um fracionamento em terras raras leves ($La_N/Sm_N=1,1$) praticamente idêntico àquele em terras raras pesadas ($Gd_N/Yb_N=1,0$). Algumas das características geoquímicas mais contrastantes, entre as suítes supostamente arqueanas e aquelas do Proterozóico, podem ser observadas nas Figuras 2, 3, 4 e 5. Os **MCI** e **DSC** possuem uma composição muito diferenciada, que compreende

essencialmente basaltos alcalinos e traquiandesitos (Figura 2), mostrando elevadas razões Nb/Y. O teor médio de SiO₂ dos **MCI** é da ordem de 51,36% e os seus teores de MgO variam de 2,1 a 4,7%. Estes metadiabásios são muito enriquecidos em TiO₂, com teores que variam de 1,9 a 3,6%. O teor médio de SiO₂ dos **DSC** é da ordem 49,63%, enquanto que os seus teores de MgO variam de 3,3 a 6,0%. Estas rochas são, a exemplo dos **MCI**, muito enriquecidas em TiO₂, com teores que variam de 2,1 a 3,3%. O padrão geoquímico médio dos elementos incompatíveis destas duas suítes, por sua vez, é notadamente mais enriquecido que aqueles apresentados pelos **AP e AC** (Figura 3). Do mesmo modo, o padrão geoquímico dos elementos de terras raras dos **MCI** (Figura 4) é altamente fracionado, com razão La_N/Yb_N=15. O seu fracionamento, contudo, é mais pronunciado em terras raras pesadas (Gd_N/Yb_N=2,1) do que em terras raras leves (La_N/Sm_N=1,8). Além disto, o padrão geoquímico dos **MCI** é três vezes, pelo menos, mais enriquecido em terras raras leves que os padrões geoquímicos das unidades anfibolíticas do **CMBS**. Outras características contrastantes entre as suítes máficas arqueanas e proterozóicas do **CMBS** podem ser observadas na Figura 5. Nesta figura, os **AP e AC** mostram um *trend* de cristalização paralelo a linha que separa o campo das rochas primitivas e evoluídas, enquanto que os **MCI e DSC** exibem um *trend* divergente em direção ao campo das rochas mais evoluídas.

AMBIENTE TECTÔNICO.

A partir das Figuras 3 e 5 é possível creditar para os **MCI e DSC** um magmatismo máfico de caráter tipicamente intraplaca. Contudo, os **AP e AC**, em virtude de sua maior complexidade evolutiva mostram características tectônicas dualísticas entre magmatismos de natureza MORB e/ou intraplaca. Estas quatro gerações de magmatismo máfico, no entanto, estão relacionadas aos grandes episódios tectônicos evolução geológica do **CMBS** envolvendo colisões ou rifteamento crustal (Carneiro et al. 1993), com significativas implicações na evolução geológica de todo segmento do **CSFM**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CARNEIRO, M.A. - 1991 - Petrography and geochemistry of dykes from the northern Bonfim Metamorphic Complex, Minas Gerais. *Boletim IG-USP*, 10:59-62 (Publicação Especial).
- CARNEIRO, M.A. - 1992a - Litoestratigrafia do Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 37, São Paulo, 1992. *Roteiro de Excursão...* São Paulo, SBG, vol. 7, 10p.
- CARNEIRO, M.A. - 1992b - O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. São Paulo, 233p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo).
- CARNEIRO, M.A. & TEIXEIRA, W - 1982 - Discordância de idades radiométricas U-Pb e Rb-Sr no Craton do São Francisco Meridional: Evidências a partir do Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 37, São Paulo, 1992. *Boletim de Resumos Expandidos...* São Paulo, SBG, vol. 2p. 189-190.
- CARNEIRO, M.A.; TEIXEIRA, W.; MACHADO, N. - 1993 - Evolução geológica policíclica de terrenos granito-greenstone do Arqueano Superior do Craton do São Francisco Meridional: Um exemplo a partir do Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO, II, Salvador 1993. *Resumos...* Salvador, SBG/NMG.

- CONDIE, K.C. - 1981 - *Archean greenstone belts*. Amsterdam, Elsevier, 434p.
- HERZ, N. - 1970 - Gneissic and Igneous Rocks of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 641(B):1-58.
- MACHADO, N. & CARNEIRO, M.A. - 1992 - U-Pb evidence of Late Archean tectonothermal activity in southern São Francisco shield, Brazil. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29:2341-2346.
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; ABREU, F.R.; KNAUER, L.G.; ALMEIDA-ABREU, P.A. - 1989 - Resultados Preliminares da Geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS 5, e SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE BRASÍLIA 1, Belo Horizonte, 1989. *Anais...* Belo Horizonte, SBG/NMG, p. 171-174 (Boletim 10).
- MASUDA A.; NAKAMURA, N.; TANAKA, T. - 1973 - Fine structures of mutually normalised rare-earth pattern of chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 36:239-348.
- PEARCE, J.A. - 1982 - Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: THORPE, R.S. (ed.), *Andesites. Orogenic andesites and related rocks*. Chichester, J. Wiley & Sons, p. 525-547.
- PEARCE, J.A. - 1983 - Role of the Sub-continental Lithosphere in Magma Genesis at Active Continental Margins. In: HAWKESWORTH, C.J. & NORRY, M.J. (eds), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Nantwich, Shiva, p. 230-349.
- PHARAOH, T.C. & PEARCE, J.A. - 1984 - Geochemical Evidence for the Geotectonic Setting of Early Proterozoic Metavolcanic Sequences in Lapland. *Precambrian Research*, 25:283-308.
- SILVA, A.M.; KUYUMJIAN, R.M.; CHEMALE Jr., F. - 1992 - Enxames de diques máficos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 36, São Paulo, 1992. *Boletim dos Resumos Expandidos...* São Paulo, SBG, vol.1 p. 505.
- TEIXEIRA, W. & FIGUEIREDO, M.C.H. - 1991 - An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco cratón, Brazil: a review. *Precambrian Research*, 53:1-22.
- TEIXEIRA, W.; FONSECA, A.C.; POUPEAU, G.; PADILHA, A.V.; ZAPAROLLI, L.H.; KAWASHITA, K.; KHOURY, M.C. - 1985 - Esboço da evolução geotectônica da parte meridional do craton do São Francisco: uma interpretação com base em dados Rb-Sr, K-Ar, Pb-Pb e traços de fissão. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 3., Belo Horizonte, 1985. *Anais...* Belo Horizonte, SBG/NMG. p. 28-44.
- TEIXEIRA, W.; KAWASHITA, K.; PECCHIO, M.; TAME, N.R. - 1988 - Geocronologia K-Ar do enxame de diques básicos da parte meridional do craton do São Francisco e implicações no contexto geotectônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. *Anais...* Belém SBG/NMG. v.6 p. 2870-2886.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. - 1977 - Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20:325-343.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi feito com a ajuda do CNPq, CAPES, CPq, CEPEGEO. Agradecimentos a estas entidades e ao CEEL (M^a. Zélia M. Alfnas), pela edição do texto.

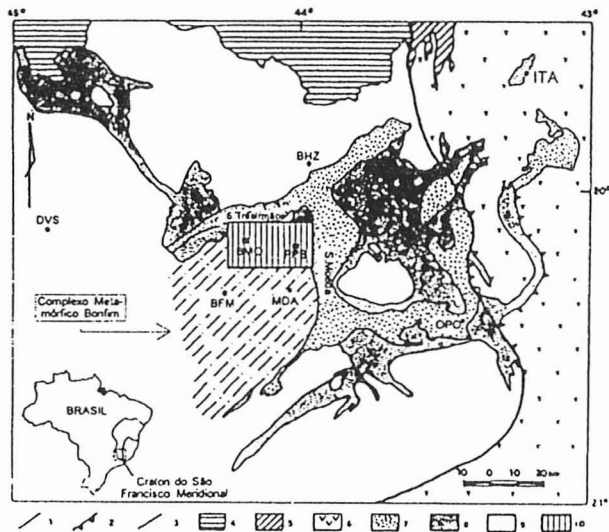


Figura 1: Contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero e adjacências, identificando o CMBS. simbologia: 1-Contatos geológicos; 2-Empurrões; 3 - Limite sul-oriental do Craton do São Francisco; 4- Supergrupo São Francisco; 5 - Supergrupo Espinhaço; 6-Complexo Metamórfico com retrabalhamento brasileiro; 7-Supergrupo Minas; 8-Supergrupo Rio das Velhas; 9-Complexo Metamórfico do Craton do São Francisco; 10- Porção do CMBS investigada neste trabalho. Cidades: DVS- Divinópolis; BHZ- Belo Horizonte; BMO- Brumadinho; ITA- itabira; PPB- Piedade do Paraopeba; MDA- Moeda; OPO- Ouro Preto; BMF- Bonfim

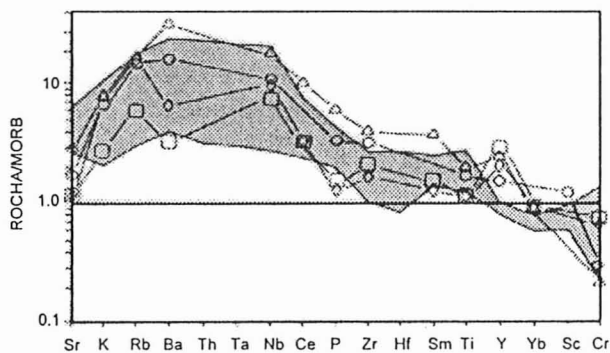


Figura 3: Padrão geoquímico da composição média das suites máficas do CMBS, normalizados pelos valores de Pearce (1982, 1983). A área sombreada corresponde ao envelope de variação do padrão geoquímico dos basaltos intraplaca modernos, adaptados de Pearce 1982; 1983; 1986 e Pharaoh & Pearce, 1984. Simbologia: como na Figura 2.

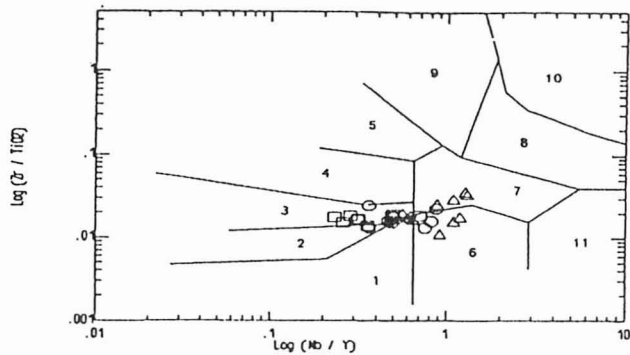


Figura 2: Classificação geral das suites máficas do CMBS segundo a proposta de Winchester & Floyd (1977). Simbologia: losangos-AP; quadrados-AC; triângulos-MCI; círculos-DSC. A nomenclatura dos campos é a seguinte: 1-Basalto sub-alcálico; 2-Basalto andesito; 3-Andesito; 4-Dacito-Riodacito; 5-Riolito; 6-Basalto alcalino; 7-Traquiandesito; 8-Traquito; 9-Comendito-Pantellerito; 10-Fonólito; 11-Basanito-Nefelinito.

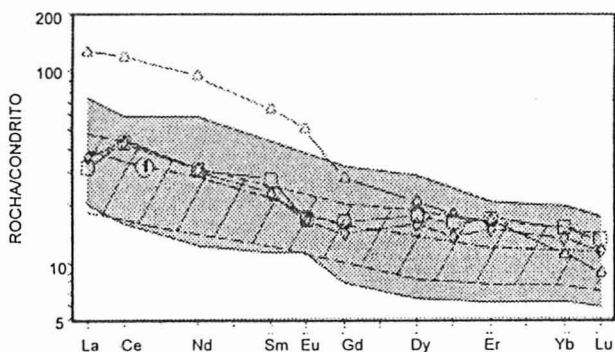


Figura 4: Padrões geoquímicos médios dos elementos de terras raras das suites máficas do CMBS para comparação com alguns padrões basálticos arqueanos e fanerozóicos de Condie (1981). As áreas sombreadas e hachuradas correspondem, respectivamente aos envelopes de variação dos padrões de terras raras dos basaltos arqueanos do tipo TH2 e dos basaltos modernos do tipo cálcio-alcálico. A linha traço-pontilhada 1 corresponde a médias dos padrões de terras raras dos basaltos do tipo TH2. Simbologia como na Figura 2.

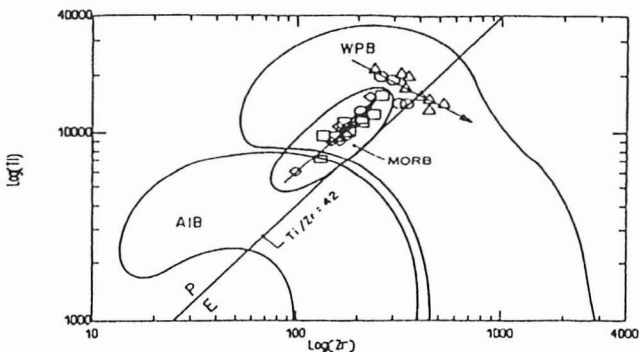


Figura 5: Diagrama Ti versus Zr para as suites máficas do CMBS. A linha diagonal separa o campo das rochas primitivas (P) das evoluídas (E). As linhas cheias delimitam os campos ocupados pelos basaltos modernos do tipo MORB, IAB e WPB de acordo com Pharaoh & Pearce (1984). As setas indicam as tendências evolutivas da suite em discussão. Simbologia como na Figura 2.