**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS DO SETOR SUL
DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO-MG**

Alexandre de Oliveira Chaves

Orientador: Prof. Dr. José Moacyr Vianna Coutinho

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

**SÃO PAULO
2001**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS DO SETOR SUL
DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO-MG**

Alexandre de Oliveira Chaves

Orientador: Prof. Dr. José Moacyr Vianna Coutinho

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

DEDALUS - Acervo - IGC

30900006970

SÃO PAULO
2001

*À minha esposa, Mônica,
meu filho, Pedro
e meus Pais, Oswaldo e Lina*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro e especial lugar a DEUS, fonte de toda sabedoria.

Ao Prof. Dr. José Moacyr Vianna Coutinho, por ter abraçado o trabalho.

Ao pessoal de São Paulo, do Instituto de Geociências (IG-USP), seus professores, funcionários, colegas de pós-graduação e do corpo técnico do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo-IG-USP), em especial Solange Souza, Liliâne Petronilho e Vasco. Agradecimentos também à Dra. Maria Irene Bartolomeu Raposo, ao Dr. Manoel D'Agrella Filho e ao Instituto Astronômico e Geofísico (IAG-USP), pelo envolvimento com as investigações de anisotropia da susceptibilidade magnética e paleomagnetismo dos diques, a serem concretizadas após essa Tese. Aos amigos Vera, Ari, Mércia e Vanderley, pela hospitalidade e diversos apoios dentro da cidade de São Paulo. E, sem ressentimentos, minha gratidão ao ex-orientador Prof. Dr. Wilson Teixeira, pelas inúmeras "dicas", aquisição de análises e outros auxílios.

Ao pessoal de Belo Horizonte, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN-UFMG), pela utilização de microscópio petrográfico e outros recursos, em especial ao meu grande amigo e orientador de Mestrado, Prof. Dr. José Marques Correia Neves; das Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), pelas fotografias aéreas; do Centro de Sensoriamento Remoto (CSR-IGC-UFMG), pela imagem de satélite; da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM-MG), pelo mapa aeromagnético; do Instituto de Geociências (IGC-UFMG), pelo apoio durante os trabalhos de campo; do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC-IGC-UFMG), pela confecção de algumas lâminas delgadas e arquivamento de amostras; ao meu sogro, José Luiz Dalla Vechia, pelo auxílio como motorista em diversas saídas de campo e seu filho, Marcos Luiz Dalla Vechia, por diversos apoios.

Aos Professores Dr. Essaid Bilal, do Departamento de Geoquímica da Escola de Minas de Saint Etienne – França e Dr. Enzo Michele Piccirillo, do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Trieste – Itália, pela realização das análises químicas em seus renomados laboratórios.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (Proc. 96/4150-0), pela bolsa de pesquisa, concedida de julho de 1996 a julho de 1997. De 1997 até a presente data, apesar de realizar todos os trabalhos dessa Tese sem bolsa de pesquisa, sou grato ao meu emprego como Professor – minha satisfação e vocação – na cadeira de Química do Colégio Santo Antônio, em Belo Horizonte, entidade a qual me afeiçoei e que forneceu a tranquilidade e segurança para continuar, em termos financeiros, na forma de meu salário mensal, sustentando a pesquisa (e minha família!).

RESUMO

O mapeamento geológico e as investigações petrográficas, geoquímicas e geocronológico/isotópicas aqui desenvolvidas, integradas aos dados disponíveis na literatura, permitiram distinguir, numa área da ordem de 30.000Km² do setor sul do Cráton do São Francisco, seis manifestações de magmatismo básico na forma de enxames de diques. Registrando importantes eventos geológicos regionais, os enxames, nomeados E1, E2, E3, E4, E5 e E6, guardam características geoquímico/isotópicas bem definidas, apesar das inúmeras similaridades entre seus corpos em escala de afloramento. Com algumas exceções, mostram texturas ígneas subofíticas a intergranulares e uma sequência de cristalização com augitas e plagioclásios como minerais primários, seguida de opacos, apatita, quartzo e, às vezes, biotita, olivina ou titanita. Feições de saussuritização e uralitização são bastante frequentes. Diques anfibolíticos, com coronas de granada metamórfica, aparecem no enxame E3.

O mais antigo "enxame" de diques máficos, E1 (neoarqueano), está representado basicamente por dois corpos dentro da área investigada, na sua porção extremo-sul, cruzando gnaisses-migmatíticos do Complexo Campo Belo. Eles preservam texturas ígneas granulares hipidiomórficas a intergranulares. Com cerca de 50 Km cada, apresentam direção NW e, em termos geoquímicos, variam de toleitos a andesitos basálticos, com os maiores valores de Mg# (55 a 75), indicando magmas pouco fracionados, dentre os enxames estudados. O padrão de elementos terras-raras (ETR) mostra um pronunciado fracionamento das leves (ETRL) em relação às pesadas (ETRP), com anomalias negativas de Eu. Diques cogenéticos aos E1, na região adjacente de Lavras, foram datados em 2658 ± 44 Ma (Sm-Nd) por Pinese (1997), tendo ele deduzido que, praticamente isentos de contaminação crustal, se originaram de fonte mantélica enriquecida nas razões Rb/Sr e empobrecida na razão Sm/Nd em relação à "Terra Global". Os valores de ϵ_{Nd} (2,65 Ga) variam de -1,5 a -2,1 para os diques menos evoluídos (T_{DM} 2,80-2,86 Ga) e de +1,6 a +2,5 para os mais evoluídos (T_{DM} 2,17-2,24 Ga). Provavelmente, os diques E1 e os básicos-noríticos de Pinese (op. cit.), ambos do mesmo enxame, registram as fases finais do evento Rio das Velhas.

Sem dados isotópicos, o enxame E2 mostra seus corpos cortando gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim e as litologias do Supergrupo Rio das Velhas, com largura entre 10-50m e comprimento entre 20-100Km. O fato de que os diques E2 não cruzam litologias do Supergrupo Minas e aparentemente cortam os diques arqueanos E1 sugere a especulação de que os mesmos teriam irradiado para NW, W e SW a partir de uma fonte situada à leste da área, nas imediações do Quadrilátero Ferrífero, e corresponderiam ao registro do evento extensivo gerador da bacia sedimentar que teria recebido os sedimentos do Supergrupo Minas, na transição Arqueano-Paleoproterozóico. Seus valores de Mg# (40-60) indicam magmas mais fracionados que dos E1. Variam também de toleitos a andesitos basálticos em termos geoquímicos e mostram um enriquecimento geral de ETR, com discretas anomalias negativas de Eu.

O terceiro enxame, E3, com corpos de direção predominante NNW, mostra sua evolução relacionada ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas (ZCT), ou seja, seus diques intrudiram sintectonicamente nas porções transtensionais das mesmas. Após a consolidação magmática, foram metamorfisados em função da continuidade dos movimentos horizontais ao longo das ZCT. Essa deformação teria originado texturas metamórficas blasto-subofíticas a granoblásticas/nematoblásticas e as "sheared margins" observadas na maioria dos diques E3. Alguns poucos diques se preservaram do metamorfismo, guardando a textura ígnea subofítica, e foram datados pelo método Rb-Sr em 2189 ± 45 Ma (razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0,702027, indicando fonte mantélica, e MSWD 0,96), idade que marca o início da deformação transamazônica regional. Os diques deste enxame cortam tanto gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, como também as litologias do Supergrupo Rio das Velhas. Constituem discretos lineamentos ao longo de centenas de metros a poucas dezenas de quilômetros e têm larguras que vão de 2m a cerca de 80m, com média de 30m. São certamente cortados por diques E4 e E5, mais recentes. A respeito da mobilidade de elementos químicos em processos metamórfico-hidrotermais, ficou evidenciado, com base em diagramas MPR, que houve mobilização parcial somente de K e Na durante os processos metamórficos que atingiram os E3. Geoquimicamente, são basaltos toleíticos com Mg# entre 35-55, ligeiramente mais evoluídos que os enxames E1 e E2 em termos do fracionamento magmático. Mostram altas razões Zr/Nb e baixas razões Zr/Y em comparação aos demais enxames da área investigada e discreto fracionamento de ETR, com anomalias negativas de Eu e a menor razão $(La/Yb)_N$ dentre todos os enxames (entre 1,06-3,48). Quanto às características isotópicas da fonte dos E3, aparentemente isenta de processos de assimilação crustal, é enriquecida nas razões Rb/Sr e Sm/Nd em relação à "Terra Global". Os valores de ϵ_{Nd} (2,2 Ga) variam de -0,5 a -1,0 e os de T_{DM} encontram-se entre 2,65 e 3,08 Ga.

O mais expressivo enxame em termos de dimensões e número de diques é o E4. Com direções N50-60W, são lineamentos que se destacam em imagens de satélite e mapas aeromagnéticos. Alguns diques alcançam 150 Km de comprimento em afloramento e se prolongam por sob a cobertura Bambuí. Cortam gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, as litologias dos Supergrupos Rio das Velhas e

Minas e os diques dos enxames E1, E2 e E3. O material dos diques tem feições de diabásios, sendo os de granulação mais grossa dentre os enxames investigados. Alguns corpos são porfíricos, com fenocristais de plagioclásio de até 15 cm na maior dimensão e outros guardam diferenciados fêlsicos em seu interior. A textura ígnea predominante é a subofítica. Sua intrusão parece ter havido por fraturamento magmático, dada a inexistência de zonas de fraqueza pré-existent de direções N50-60W, causado por uma possível pluma mantélica situada à noroeste do setor sul do Cráton, um fenômeno geológico que permite explicar o fluxo magmático horizontal de NW para SE, registrado por feições de contato com a encaixante, orientação dos fenocristais de plagioclásio na mesma direção dos diques e dados preliminares de anisotropia da susceptibilidade magnética. Os E4 constituem-se basicamente de andesitos basálticos (raros diques mostram tendência alcalina). Com relação à norma CIPW, são quartzo-toleitos como os demais enxames. Os valores de Mg# situam-se entre 25 e 55, apontando magmas bastante evoluídos, e mostram fracionamento de ETR, com as mais pronunciadas anomalias negativas de Eu (Eu/Eu^* 0,64-0,85) dentre os enxames investigados. Os E4 foram datados pelo método Rb-Sr em 1740 ± 54 Ma, com razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ de $0,70562 \pm 0,00092$ (MSWD 1,3). Esse valor corrobora com a idade de 1714 ± 5 Ma encontrada por Silva et al. (1995) pelo método U-Pb para rocha similar dentro da área investigada e marca localmente a ampla Tafrogênese Estateriana responsável pela fissão da massa continental paleoproterozóica pré-existente, designada Atlântica. O elevado valor da razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ é atribuído a processos de assimilação crustal sofridos pelos E4. Sua fonte é enriquecida nas razões Rb/Sr e levemente empobrecida na razão Sm/Nd em relação à "Terra Global". Os valores de $\epsilon_{Nd}(1,7 \text{ Ga})$ levemente negativos, entre -0,2 e -2,5, parecem indicar que o magma dos E4 sofreu algum grau de residência crustal e, sendo eles próximos a zero (-0,2), apontariam para uma fonte pouco diferenciada, ou seja, a referida pluma mantélica. Seu T_{DM} encontra-se entre 2,13-2,58 Ga.

Outra geração de diques proterozóicos, porém de direções N60-70E, cruza a porção sul do Cráton, alguns com mais de 100 Km de extensão. Pertencem ao enxame E5 e cruzam gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, as litologias dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas e os diques dos enxames E2, E3 e E4. Preservam a textura ígnea ofítica a intergranular em tipos de granulação média a fina. Tipos porfíricos, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm, são também encontrados. Amostras isotopicamente similares, oriundas dos E5 e da região adjacente do Espinhaço Meridional (NE da área investigada), produziram uma isócrona Sm-Nd de 984 ± 110 Ma (razão inicial $^{143}Nd/^{144}Nd$ de 0,511355, típica de fonte mantélica, e MSWD 1,8). A afinidade temporal dos diques e sills de 906 ± 2 Ma (U-Pb, Machado et al., 1989) do Espinhaço Meridional reforça a idéia de que eles sejam cogenéticos aos E5, sendo todos eles marcadores locais da Tafrogênese Toniana, que registra a quebra do supercontinente Mesoproterozóico pré-existente, denominado Rodínia. Os E5 teriam irradiado para SW na área investigada a partir de pluma mantélica, proposta por Correa-Gomes & Oliveira (1997) na interface Brasil-África, há 1,0 Ga. Geoquimicamente, os E5 correspondem a basaltos toleíticos (Mg# entre 35 e 45) e mostram os maiores índices de fracionamento de ETR [$(La/Yb)_N$ 9,93-15,59] e razões Zr/Y dentre todos os enxames. É o único com anomalias positivas de Eu, similares às dos diques do Espinhaço Meridional. Isotopicamente, sua fonte é enriquecida nas razões Rb/Sr e levemente empobrecida na razão Sm/Nd em relação à "Terra Global". Os valores de $\epsilon_{Nd}(0,9 \text{ Ga})$, entre -0,3 e -1,0, parecem indicar que o magma gerador dos E5 sofreu algum grau de residência crustal e, sendo próximos a zero, apontariam para a fonte - pluma - quase condritica. Idades modelo (T_{DM}) para os E5 estão entre 1,44-1,62 Ga. Os diques E5 não cortam o Grupo Bambuí, o que limita a sua deposição em ~0,9-1,0 Ga.

O "enxame" E6 mostra dois diques, com direções aproximadas E-W e largura máxima de 10m, cuja rocha tem granulação muito fina, quase vítrea, e coloração negra. Eles são inferidos como mesozóicos, ou seja, representantes da quebra do Gondwana, por se apresentarem quimicamente similares a diques do Espinhaço Meridional e Lavras, de 120-220 Ma (K-Ar, Dussin, 1994; Silva et al., 1995; Pinese, 1997). São andesitos com Mg# entre 20-30, os mais evoluídos dentre os enxames, de acordo com este parâmetro. Mostram um maior fracionamento de ETRL em relação à ETRP, com anomalias negativas de Eu.

Os enxames derivam de fontes mantélicas distintas, dadas as suas marcantes diferenças das razões Zr/Nb, Zr/Y, Zr/Sr, $(La/Yb)_N$ e Eu/Eu^* e dos referidos parâmetros petrológicos dos isótopos de Sr e Nd.

ABSTRACT

Supported by unpublished geological mapping and petrographic, geochemical and geochronological/isotopic data, compared and unified with those available from the literature, this research allowed the characterization of six basic magmatic episodes, occurring as dyke swarms in an area about 30.000 Km² in the southern part of the São Francisco Craton. Recording important regional geological events, the swarms E1, E2, E3, E4, E5 and E6 keep well defined geochemical/isotopic characteristics, despite dyke similarities in outcrop scale. The most of them shows subophitic to intergranular igneous textures and a crystallization sequence with augite and plagioclase as primary minerals,

followed by opaque minerals, apatite, quartz and sometimes olivine, biotite or sphene. Saussuritization/uralitization processes are quite frequent. Several dykes of the swarm E3, with amphibole and garnet, have been subjected to a metamorphic event of the high amphibolite facies.

The oldest "swarm", E1, is represented so far, within mapped area, by two bodies outcropping in the southern part of the investigated region crosscutting migmatitic gneisses of the Campo Belo Complex. Each of them, outcrops along about 50 Km striking NW. At least one of them preserves intergranular igneous texture. Geochemically, they show close relationship to petrographic types oscillating between tholeiites and basaltic andesites. They have the highest Mg # (from 55 up to 75) among all the analyzed material, indicating poor fractional basic magmas. Its rare earth element (REE) patterns, with negative Eu anomalies, display a clear fractionation of the LREE as compared with that of the heavy ones (HREE). Cogenetic dykes, outcropping in the Lavras adjacent area, and dated by Pinese (1997), show the age 2.658 ± 44 Ma (Sm-Nd). The same author has found that they do not show any significant crustal contamination, and originated from a mantle source with high Rb/Sr values and low Sm/Nd values as compared with those of the Bulk Earth. The ϵ_{Nd} (2.65 Ga) values ranging from -2.1 up to -1.5 for the less evolved dykes (T_{DM} 2.80-2.86 Ga) and from $+1.6$ up to $+2.5$ for the more evolved ones (T_{DM} 2.17-2.24 Ga). It can be expected that the dykes E1 and the basic-noritic ones studied by Pinese (1997), belonging to the same swarm, record the final phases of the Rio das Velhas event.

The dyke swarm E2 is represented by bodies crosscutting granitoids and migmatitic gneisses of the Belo Horizonte, Campo Belo and Bonfim Complexes and the Rio das Velhas Supergroup as well. They show outcropping widths ranging from 10 up to 50m and lengths ranging from 20 up to 100Km. The dykes E2 do not crosscut the Minas Supergroup, dated about 2.5 Ga. However they intersect the late archean dykes E1 dated about 2.65 Ga, suggesting that the dykes of this swarm may record an extension event which led to the opening of the basin that received the Minas Supergroup sediments, in the transition Archean-Paleoproterozoic. Irradiating to NW, W and SW, it is assumed that they originated from a source located to the east of the area, in the vicinity of the Quadrilátero Ferrífero. Its Mg # (from 40 up to 60) indicate more fractional magmas when compared with those from the dykes E1. Even so the dykes E2 show geochemical signatures ranging between tholeiites and basaltic andesites as well. Its REE patterns, with slight negative Eu anomalies, show an general enrichment in these elements. Unfortunately from this dykes the geochronological/isotopic data are not yet available.

The bodies of dyke swarm E3, outcropping predominantly according to the NNW trend, show a close relationship to the development of transamazonian transcurrent shear zones (TSZ). In other words, these dykes have been syntectonic emplaced in the transtensional portions of the TSZ. Soon after the magmatic consolidation, the dykes have been metamorphosed in the amphibolite facies following the horizontal displacements of the TSZ. This deformation originated both the blasto-subophitic to granoblastic metamorphic textures in the inner parts of these dykes and nematoblastic ones at the border (sheared margins). Luckily, among all these metamorphic dykes, the author found two bodies, keeping the initial subophitic igneous texture, which did not undergo metamorphism. The Rb-Sr isochronic age of these dykes is 2.189 ± 45 Ma (MSWD 0.96). The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratio 0.702027 indicates a mantle source. This age marks the beginning of the regional transamazonian orogenetic phase. The dykes of this swarm cut granitoids and migmatitic gneisses of the Belo Horizonte, Campo Belo and Bonfim Complexes, and the Rio das Velhas Supergroup as well. They appear as pinch and swell like alignments whose outcrop lengths range from hundreds of meters up to few dozens of kilometers, and the outcrop widths change from 2m up to 80m (average 30m). They are certainly cut by the more recent dykes of the swarms E4 and E5. Geochemically the MPR diagrams have shown that there was only partial K and Na mobilization during the metamorphic processes affecting the dykes of the swarm E3. These tholeiitic basalts dykes, with Mg # ranging between 35 and 55, are slightly more evolved than those ones belonging to the swarms E1 and E2. They show high Zr/Nb values, low Zr/Y values and slight REE fractionation, with negative Eu anomalies and the smallest $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ ratio values among all the studied swarms. The isotopic characteristics of the E3 source, apparently without crustal assimilation, show enrichment in the Rb/Sr and Sm/Nd ratios as compared with those of the Bulk Earth. The ϵ_{Nd} (2.2 Ga) values range from -1.0 up to -0.5 and T_{DM} ages are 2.65-3.08 Ga.

The E4 is the most expressive swarm both in terms of dimensions and number of dykes. Striking N50-60W the dykes alignments stand out in satellite images and aeromagnetic maps. Some of these dykes are up to 150 Km long in outcrop and continue under the Bambuí cover as revealed by the aeromagnetic surveying. They cut granitoids and migmatitic gneisses of the Belo Horizonte, Campo Belo and Bonfim Complexes, the Rio das Velhas and Minas Supergroups and the dykes of the swarms E1, E2 and E3 as well. The dyke material has diabase features and is coarse grained. The grain size is the greatest one among all the investigated swarms. Some bodies are porphyritic, with plagioclase phenocrysts whose length goes up to 15 cm in the largest dimension. The more thicker (up to 100m) becomes the dyke the more likely are the chances to find more felsic remnants differentiated inside of it. The predominant igneous texture is subophitic. Lacking weakness zones striking N50-60W preceding the intrusion, one

is constrained to think of a magmatic fracturing beginning just before the emplacement of the molten basic material. That could be induced by a possible mantle plume located northwesterly outside the southern part of the Craton. Such a magmatic fracturing would explain the horizontal magmatic flow, from NW to SE, recorded by small scale attributes near the contact with the country-rocks, orientation of the plagioclase phenocrysts in the same trend of the dykes, and by geochemical evolution along a dyke E4 from NW to SE. Preliminary unpublished data of anisotropy of magnetic susceptibility, showing the ellipsoid main axis parallel to the strike, lead to the same conclusion. The dykes of the swarm E4 are made basically of basaltic andesites. However, although seldom, some dykes show alkaline trend. According to the CIPW norm, the dykes basic material match well with quartz-tholeiites as it appears with the basic material of the other swarms as well. Their Mg #, ranging from 25 up to 55, point out to quite evolved magmas. They show REE fractionation, with the most sharp negative Eu anomalies ($\text{Eu}/\text{Eu}^* 0.64-0.85$) among the studied basic material of all swarms. The Rb-Sr age of the E4 basic material is 1.740 ± 54 Ma, with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratio of 0.70562 ± 0.00092 and MSWD 1.3. This age is very similar to the U-Pb age of 1.714 ± 5 Ma got by Silva et al. (1995) for similar rock material sampled inside of the investigated area. The swarm E4 singles out locally the world-wide Staterian Taphrogenesis accounting for the fission of the preëxistent paleoproterozoic continental mass, designated Atlantic. The high value of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratio is attributed to crustal assimilation suffered by the E4 dykes, ratified at $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus $1/\text{Sr}$ two-component mixing diagram. The $\epsilon_{\text{Nd}}(1,7 \text{ Ga})$ values slightly negative, $-0,2$ to $-2,5$, also seem to indicate that the E4 magma suffered some degree of crustal residence. The longer was the crustal residence time of the molten basic material the greater was its crustal assimilation. The $\epsilon_{\text{Nd}}(1,7 \text{ Ga})$ value -0.2 means smaller assimilation and a magma composition closer to that of the material leaving the plume. The T_{DM} ages range from 2.13 up to 2.58 Ga.

Another proterozoic group of dykes striking N60-70E cross through the southern part of the Craton. They represent dyke swarm E5. Some of them crop out by more than 100 Km length. The dykes cut both granitoids and migmatitic gneisses of the Belo Horizonte, Campo Belo and Bonfim Complexes, the Rio das Velhas and Minas Supergroups and the dykes of the older swarms E2, E3 and E4 as well. Preserving ophitic to intergranular igneous structures, they are medium to fine grained. Porphyritic types, with plagioclase phenocrysts up to 5cm long, are also found. Samples, originating from dykes collected both in the E5 swarm and from those outcropping in the Southern Espinhaço adjacent region (Dussin 1997), NE of the investigated area, show strong isotopic similarities. Plotting the Sm-Nd own data along with those of Dussin (1997) a very good isochron (MSWD 1.8) was built from which the age 984 ± 110 Ma was obtained. The $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ initial ratio value (0.511355), characterizes a mantle source. The occurrence of dykes and sills, in the Southern Espinhaço, 906 ± 2 Ma (U-Pb) old according to Machado et al. (1989), seems to indicate a very strong temporal affinity between the basic material emplaced both as the E5 dykes and as the above mentioned Espinhaço dykes and sills. All these dykes are local markers of the Tonian Taphrogenesis, that registers the break of the mesoproterozoic preëxistent Rodinia supercontinent. The E5 dykes, spreading out southwesterly within the investigated area, would originate from a mantle plume, 1.0 Ga old, situated in the Brazil-Africa interface proposed by Correa-Gomes & Oliveira (1997). The geochemical signature of the E5 basic material corresponds to tholeiitic basalts with Mg # ranging between 35 and 45. Among the basic material of all swarms, the E5 one shows the greatest values both for indexes of the REE fractionation [$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ ranging between 9.93 and 15.59] and for the Zr/Y ratios. Among all the studied basic material samples, only the E5 ones show positive Eu anomalies. That occurs with the neoproterozoic dykes of the Southern Espinhaço as well. Isotopically, its source material had high values for the Rb/Sr ratio and was slightly depleted in Sm giving its Sm/Nd ratio smaller values as compared with those of the Bulk Earth. The $\epsilon_{\text{Nd}}(0.9 \text{ Ga})$ values, ranging from -1.0 up to -0.3 , seem to indicate that the E5 parental magma underwent some degree of crustal residence. The ϵ_{Nd} values, close to zero, point out to a near chondritic source. The E5 model ages (T_{DM}) are 1.44-1.62 Ga. As the dykes E5 do not cut the São Francisco Supergroup, the sedimentation of it must be younger than that of the E5 dykes whose age is situated, as we have shown above, between 0.9 and 1.0 Ga.

The dyke "swarm" E6 is represented so far, within mapped area, only by two dykes. Striking nearly E-W they show a maximum outcrop width of 10m. Its rock material is very fine grained, almost vitreous, and black. It is assumed that they represent mesozoic basic material emplaced during the Gondwana break. This assumption arose because they present a chemical signature very similar to that of the dykes outcropping both in the Southern Espinhaço and Lavras regions. All these dykes, dated by K-Ar, show ages ranging between 120 and 220 Ma (Dussin, 1994; Silva et al., 1995; Pinese, 1997). They are andesites with Mg # ranging between 20 and 30. By this parameter they correspond to the more evolved basic material collected in all the swarms. Its REE patterns, with negative Eu anomalies, show a greater LREE differentiation as compared with that of the HREE.

Taking into account the outstanding differences in the ratio values of Zr/Nb, Zr/Y, Zr/Sr, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ and Eu/Eu^* , the different Sr and Nd isotope petrogenetic parameters, the geological setting, the petrographic attributes and the geochemical signatures aforementioned, disclosed in the studied dyke swarms, one is compelled to assume different mantle sources, for these different basic materials.

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
Agradecimentos, Resumo e Abstract	preliminares
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	
I.1 – Objetivos.....	1
I.2 – Localização da área investigada.....	1
I.3 – Metodologia.....	2
I.4 – Escala do tempo geológico.....	7
CAPÍTULO II – GEOLOGIA REGIONAL	
II.1 – Introdução.....	8
II.2 – Arcabouço geológico-geocronológico da porção meridional do Cráton do São Francisco.....	8
II.2.1 – Arqueano.....	9
II.2.2 – Paleoproterozóico.....	13
II.2.3 – Neoproterozóico.....	15
II.2.4 – Fanerozóico.....	16
CAPÍTULO III – COMPILAÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS	
III.1 – Compilação de conhecimentos sobre os enxames de diques máficos pré-cambrianos do globo.....	17
III.1.1 – Introdução.....	17
III.1.2 – Características gerais.....	17
III.1.3 – Morfologia e atributos geológicos dos diques.....	19
III.1.4 – Os mecanismos de intrusão dos diques.....	20
III.1.4.1 – Regime Extensional.....	20
III.1.4.2 – Regime de Transcorrência.....	22
III.1.5 – Composição e aspectos da cristalização.....	23
III.1.5.1 – Quartzo-Toleítos.....	24
III.1.5.2 – Diques Picríticos.....	24
III.2 – Compilação de conhecimentos sobre os enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.....	25

CAPÍTULO IV – OS ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS DA ÁREA INVESTIGADA

IV.1 – Enxame 1 (E1).....	30
IV.2 – Enxame 2 (E2).....	30
IV.3 – Enxame 3 (E3).....	32
IV.4 – Enxame 4 (E4).....	34
IV.5 – Enxame 5 (E5).....	39
IV.6 – Enxame 6 (E6).....	40

CAPÍTULO V – PETROGRAFIA

V.1 – Enxame 1 (E1).....	41
V.2 – Enxame 2 (E2).....	43
V.3 – Enxame 3 (E3).....	46
V.3.1 – Diques não-metamorfisados (E3A).....	46
V.3.2 – Diques parcialmente metamorfisados (E3B).....	48
V.3.3 – Diques anfíbolíticos (E3C).....	49
V.4 – Enxame 4 (E4).....	54
V.4.1 – E4A.....	54
V.4.2 – E4B.....	57
V.5 – Enxame 5 (E5).....	58
V.6 – Enxame 6 (E6).....	60

CAPÍTULO VI – LITOGEOQUÍMICA

VI.1 – Considerações a respeito da mobilidade de elementos químicos em processos metamórfico-hidrotermais.....	61
VI.2 – Classificação Geoquímica.....	64
VI.2.1 – Classificação baseada nos conteúdos de sílica e álcalis.	64
VI.2.2 – Classificação baseada no Diagrama R1 x R2.....	64
VI.2.3 – Classificação baseada na norma CIPW.....	66
VI.3 – Caracterização Geoquímica.....	70
VI.3.1 – Elementos maiores e traços.....	70
VI.3.2 – Elementos Terras-Raras.....	81

**CAPÍTULO VII – GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA
ISOTÓPICA – INFERÊNCIAS
PETROGENÉTICAS E TECTÔNICAS**

VII.1 – Geocronologia.....	85
VII.1.1 – Enxame 1 (E1).....	87
VII.1.2 – Enxame 2 (E2).....	87
VII.1.3 – Enxame 3 (E3).....	88
VII.1.4 – Enxame 4 (E4).....	90
VII.1.5 – Enxame 5 (E5).....	94
VII.1.6 – Enxame 6 (E6).....	98
VII.2 – Geoquímica Isotópica.....	99

CAPÍTULO VIII – CONCLUSÕES

VIII.1 – Resultados e Discussões.....	106
VIII.2 – Considerações Finais.....	110

BIBLIOGRAFIA.....	113
--------------------------	------------

ANEXO I – Análises químicas em rocha total (elementos maiores, traços e terras-raras) e resultados da Norma CIPW.....	122
--	------------

ANEXO II – Breve descrição dos pontos visitados.....	141
---	------------

ANEXO III – Mapa geológico dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.....	153
--	------------

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

I.1 - Objetivos

O presente trabalho visa a cartografia geológica, estudos petrográficos, geoquímicos e isotópico/geocronológicos sobre os diferentes enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco, para a compreensão da época e de seus mecanismos de intrusão, em associação aos processos petrológicos envolvidos nos contextos magmático-tectônicos de suas colocações.

Essa pesquisa consiste em uma ampliação de estudos sobre diques máficos deste setor do Cráton do São Francisco, iniciados em trabalhos de graduação e no Mestrado do autor (Chaves, 1996).

I.2 - Localização da área investigada

A área na qual situam-se os enxames de diques máficos investigados neste trabalho encontra-se no Estado de Minas Gerais - Brasil, mais precisamente entre os paralelos $19^{\circ}30'00''$ e $21^{\circ}00'00''$ de latitude sul e os meridianos $43^{\circ}50'00''$ e $45^{\circ}30'00''$ de longitude oeste. Sua extensão territorial é da ordem de 30.000 Km^2 e nela está contida a capital do referido estado, a cidade de Belo Horizonte. O acesso à área pode ser feito pelas principais rodovias que a atravessam; a saber: a BR-381 (Rodovia Fernão Dias), a BR-040, a BR-262 e a MG-050, conforme mostra a figura I.1.

Figura I.1 – Localização da área investigada e detalhe das principais cidades e rodovias.

I.3 - Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos, foram executadas as seguintes etapas de trabalho:

a) Levantamento bibliográfico

Mesmo antes do início do doutoramento, uma pormenorizada revisão da bibliografia relacionada ao tema foi sendo realizada e sempre atualizada, utilizando o acervo da biblioteca do Instituto de Geociências (IG) da Universidade de São Paulo (USP), além de ferramentas disponíveis como a Internet.

b) Fotointerpretação

Como suporte às etapas de campo foram analisadas cerca de 150 fotografias aéreas da região, conseguidas junto às Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), em escala 1:60.000, bem como uma imagem de satélite (LANDSAT), cuja cópia foi obtida no Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR-UFMG), em escala 1:250.000.

Esses estudos fotointerpretativos visaram a prévia localização dos principais lineamentos, os quais, na maior parte dos casos, correspondiam aos próprios diques, uma vez que apresentam-se como feições lineares positivas nessas fotos. Os corpos mais longos e espessos foram facilmente visualizados na imagem de satélite, enquanto os menos espessos foram identificados principalmente a partir das análises das fotografias aéreas. Adicionalmente, utilizou-se o mapa aeromagnético regional, conseguido junto à Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM-MG), no qual os diques se destacam em relação às encaixantes. As estradas percorridas nos trabalhos de campo foram escolhidas com bases em perfis perpendiculares aos corpos.

c) Trabalhos de campo

Com o apoio das cartas topográficas - Folhas Formiga, Divinópolis, Pará de Minas e Belo Horizonte (escala 1:100.000, IBGE, 1986), reduzidas para a escala 1:250.000, cerca de um mês de atividades de campo pôde ser desenvolvido, tendo sido investigados 245 pontos. Oitenta por cento dos mesmos se referem a diques, onde foram registrados os seus atributos geológicos, enquanto os demais consistem em outros tipos de rochas, principalmente as encaixantes e falhamentos. De quase todos os pontos foram coletadas amostras, as quais encontram-se no Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa, no campus da UFMG, em Belo Horizonte. Cabe ressaltar que o mapa geológico dos diques produzido neste trabalho (anexo 3)

apresenta um total de 470 pontos, pois inclui aqueles visitados durante o Mestrado do autor (Chaves, 1996).

Outros seis dias de trabalhos de campo foram dedicados à coleta de amostras para estudos posteriores de anisotropia da susceptibilidade magnética e paleomagnetismo dos diques, com o auxílio de uma perfuratriz movida à gasolina, tendo sido amostrados 250 cilindros de rocha de 20 diques diferentes. A partir desses cilindros, foram devidamente serrados e pintados 600 espécimes no IAG-USP para análises laboratoriais.

d) Trabalhos laboratoriais

Dentre as quase 200 amostras de diques máficos coletadas foram selecionadas 73 para a confecção de lâminas delgadas, visando estudos por microscopia de luz polarizada. Essa seleção procurou abranger todos os tipos petrográficos distintos em amostras de mão, tendo sido separadas aquelas menos alteradas intempericamente.

A investigação das seções delgadas permitiu a caracterização mineralógica, granulométrica e textural das rochas dos diques, bem como a verificação dos percentuais em volume das principais fases minerais.

Os diques que tiveram seu material microscopicamente analisado foram os dos seguintes pontos (ver mapa anexo): 211, 217, 220, 221, 223, 229, 236, 239, 241, 242, 249, 250, 254, 255, 256, 260, 263, 267, 269, 270, 274, 285, 288, 293, 295, 297, 301, 303, 305, 306, 307, 308, 314, 315, 316, 321, 329, 330, 331, 333, 335, 339, 342, 343, 348, 351, 353, 357, 367, 370, 373, 374, 375, 377, 378, 384, 385, 388, 392, 397, 398, 399, 402, 403, 404, 415, 418, 419, 428, 435, 438, 441, 442. Ressalta-se que pouco mais de 100 outras lâminas referentes à diques foram descritas no Mestrado do autor (Chaves, 1996).

Um total de 114 amostras de diques foram analisadas quimicamente nos laboratórios do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Trieste, Itália, utilizando a técnica da fluorescência de raios-x (XRF). As determinações permitiram a obtenção de resultados, recalculados em 100%, para dez elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , MnO e P_2O_5) e onze elementos traços (Cr, Ni, Rb, Sr, Ba, Nb, Zr, Y, La, Ce, Nd).

Também obtidas pela técnica XRF no Centro Spin, Departamento de Geoquímica, na Escola de Minas de Saint Etienne - França, durante o Mestrado do autor (Chaves, 1996), cuja área de trabalho está incluída na presente Tese, outras 82 determinações químicas foram aqui utilizadas, totalizando 196 análises (anexo 1). Em termos gerais, o erro estimado para elementos maiores e menores não ultrapassa 1,5%, enquanto que para os traços é inferior a 5%, tanto nos laboratórios franceses quanto nos italianos, de excelência internacional reconhecida.

Apesar de não ter sido feito um tratamento estatístico adequado para justificar o uso conjunto de dados provenientes dos laboratórios de ambos os países, a constatação da semelhança dos resultados de elementos maiores e traços de três amostras analisadas nos mesmos parece apontar para uma homogeneidade nas determinações analíticas desses laboratórios, como se percebe na tabela I.1 a seguir.

Tabela I.1 – Comparações de análises químicas de diques feitas na França e na Itália.

Amostra Laborat.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _t	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	Ni	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr	Y
ESM 8 França	48.83	3.75	12.67	15.91	3.92	7.41	2.60	2.11	0.21	0.73	46	59	244	881	20	251	48
ESM8 Itália	48.27	3.61	13.40	16.02	4.16	7.02	2.38	2.10	0.17	0.74	44	58	298	986	24	290	52
36 França	52.70	2.71	12.05	15.34	2.46	6.14	2.88	2.41	0.20	0.44	6	104	250	775	16	247	46
36 Itália	52.56	2.40	12.46	14.83	2.62	6.27	2.73	2.44	0.20	0.43	7	108	253	755	20	256	47
110 França	54.51	2.76	12.62	15.73	2.50	5.97	2.60	2.17	0.19	0.45	3	76	231	736	15	250	46
110 Itália	54.20	2.68	12.44	15.33	2.57	5.63	2.67	2.36	0.16	0.50	2	77	252	787	19	275	49

Quanto aos elementos terras-raras La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er e Yb, 78 amostras tiveram esses elementos determinados por meio da técnica de plasma (ICP, anexo 1), nos referidos laboratórios franceses, com erros inferiores a 10%, sendo que 53 delas referem-se à diques da região do Mestrado do autor (Chaves, 1996). Porém, os resultados de 26 dessas 53 amostras não constaram naquela Dissertação por terem sido concluídos após a sua defesa. Os elementos Gd e/ou Er não foram determinados para algumas amostras devido à problemas ocorridos na determinação analítica de alguns lotes das mesmas.

Já com relação aos estudos isotópicos, o autor preparou um total de 9 amostras - rochas totais dos diques 330, ESM8, 351, 370, 254, 384, 274, 16 e 306, todos de textura ígnea - para análises Rb-Sr e Sm-Nd nos laboratórios de preparação de amostras do Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do IG-USP, utilizando britador de mandíbulas, moinho de bolas (carbeto de tungstênio) e peneiração. Obviamente, as amostras escolhidas são as menos alteradas e coletadas em diques afastados das margens do Cráton, onde estimou-se estarem minimizados eventuais distúrbios nos sistemas isotópicos.

Antes de prosseguir na descrição da metodologia empregada nos estudos isotópicos, cabe ressaltar que a enorme demanda de serviços do CPGeo, que constitui um problema real na obtenção de dados neste local, aliada à dificuldade do autor (sem bolsa de pesquisa) em estar em São Paulo, uma vez que reside e trabalha em Belo Horizonte – MG, impuseram limitações nas investigações isotópico-geocronológicas. Desse modo, essas investigações contemplaram 3 dos 6 enxames da área estudada. Também pelos mesmos motivos, análises K-Ar intencionadas para diques de um quarto enxame não puderam ser feitas, apesar do material ter sido preparado desde 1997.

Continuando, com o auxílio do separador magnético Frantz e da lupa binocular (catação), foram obtidos, para 4 (330, 384, 274 e 306) das 9 referidas amostras, além da rocha total, três concentrados minerais, a saber: a) máficos/félsicos, isentos de minerais isolados por imã de mão, b) máficos e c) félsicos, seguindo a metodologia proposta por Pandey et al. (1997) para datação de diques. As análises iniciais semi-quantitativas de Rb e Sr, por meio de raios-x, também foram realizadas no CPGeo pelo autor.

A obtenção das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e dos valores de Rb e Sr de 8 rochas totais (a amostra 16 não se inclui) e dos 12 concentrados se deu pela técnica de diluição isotópica. Este processo consiste na mistura da amostra com traçadores (“spikes”) dos elementos que se deseja dosar, propiciando dados mais precisos. O procedimento químico para Rb-Sr no CPGeo inicia-se com a pesagem da amostra, seguida de sua abertura, utilizando ácido nítrico e ácido fluorídrico na proporção 1:2. Após o ataque, a amostra é dissolvida em ácido clorídrico 2,62 N, sendo extraídas três alíquotas: estrôncio natural, estrôncio mais “spike” e rubídio mais “spike”. Nas referidas alíquotas são adicionadas quantidades pré-calculadas de “spike” utilizando-se valores obtidos pela fluorescência de raios-x. Na sequência, as amostras são depositadas em colunas com resina de

troca catiônica, das quais são coletados o Rb e o Sr utilizando ácido clorídrico 2,62 N. O material coletado, depois de seco, tem seu resíduo resultante analisado por espectrometria de massa.

Os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram normalizados de acordo com a razão $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$, sendo utilizadas nos cálculos as constantes propostas por Steiger & Jäger (1977), a saber: $\lambda_{\text{Rb}} = 1,42 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$, $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,056584$ e $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Rb} = 2,59265$. As demais razões utilizadas são: $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{PRIMORDIAL [BAB]}} = 0,69898$; $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{DM atual}} = 0,0494$; $(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR atual}} = 0,0816$; $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{DM atual}} = 0,7023$; $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{UR atual}} = 0,7045$. Para se obter a razão $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ utilizou-se a seguinte equação: $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} = 2,8934 \times [\text{Rb}(\text{ppm})/\text{Sr}(\text{ppm})]$. Os diagramas e cálculos isocrônicos foram obtidos com o auxílio do software ISOPLOT - versão 2.10b - de Ludwig, K.R. (1999).

Ainda no CPGeo, o autor participou dos procedimentos envolvendo a metodologia Sm-Nd, que também emprega a técnica de diluição isotópica. Após a pesagem e ataque químico da amostra com os ácidos nítrico e fluorídrico (1:2), a solução resultante é evaporada e o resíduo é redissolvido em ácido clorídrico 2,5 N. A seguir, em uma coluna de troca iônica é coletado o conjunto das terras-raras utilizando ácido clorídrico 0,26 N e numa segunda coluna preenchida com pó de teflon, separa-se o Sm e Nd do restante das terras-raras. Nesta última coluna, utiliza-se ácido clorídrico 0,26 N para a coleta do Nd e ácido clorídrico 0,55 N para a coleta do Sm. O resíduo, após secagem, é encaminhado para a espectrometria de massa.

Pelo método Sm-Nd foram analisadas 5 amostras (330, 384, 274, 16 e 306) em rocha total, as quais, com exceção da 16, correspondem àquelas analisadas para Rb-Sr.

Os valores $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram normalizados pela razão $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ (Hawkesworth & Van Calsteren, 1984). Para obter a razão $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ utilizou-se a equação $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,60847 \times [\text{Sm}(\text{ppm})/\text{Nd}(\text{ppm})]$. As constantes adicionalmente utilizadas foram: $\lambda_{\text{Nd}} = 6,54 \times 10^{-12} \text{ anos}^{-1}$; $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR atual}} = 0,1967$; $(^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM atual}} = 0,222$; $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{CHUR atual}} = 0,512638$ e $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_{\text{DM atual}} = 0,513114$. Os diagramas e cálculos isocrônicos para o sistema Sm-Nd foram realizados com o auxílio do mesmo programa utilizado para Rb-Sr.

Excetuando-se a espectrometria, de todas as etapas analíticas dos métodos Rb-Sr e Sm-Nd o autor participou, auxiliado pelo pessoal técnico do laboratório.

O princípio e o significado das metodologias geocronológicas Rb-Sr, Sm-Nd, Pb-Pb (isócronas em rocha total ou internas, razões iniciais, idades modelo, μ_1 , etc), U-Pb (concordia/discórdia, análises de núcleo ou borda de zircões, etc), K-Ar e Ar-Ar (determinações em rocha total ou minerais específicos, etc), bem como as interpretações dos respectivos dados mencionados ao longo do texto da presente Tese, podem ser encontrados, entre outras obras, em Faure (1986), Rollinson (1993) e Dickin (1995).

I.4 – Escala do tempo geológico

Para efeito de esclarecimento da nomenclatura sobre tempo geológico, nesse trabalho foi adotada a escala da IUGS (International Union of Geological Sciences) para o Pré-Cambriano, utilizada universalmente e apresentada na publicação de Plumb (1991). A divisão desse tempo é feita entre os Éons Arqueano (até 2,50 Ga) e Proterozóico (2,50 - 0,54 Ga), sendo que no Éon Proterozóico estão reunidas as Eras Paleoproterozóica (2,50 - 1,60 Ga), Mesoproterozóica (1,60 - 1,00 Ga) e Neoproterozóica (1,00 - 0,54 Ga).

CAPÍTULO II – GEOLOGIA REGIONAL

II.1 - Introdução

Extensas regiões tectonicamente estabilizadas ao término do Paleoproterozóico são feições comuns da Plataforma Sul-Americana. Segundo vários autores (Almeida, 1977; Almeida et al., 1981; Cordani et al., 1988; Alkmin et al., 1993), o Cráton do São Francisco constitui-se numa dessas regiões e corresponde a um núcleo arqueano acrescido de cinturões vestigiais formados no Ciclo Transamazônico (2,5-1,9 Ga), que atuou como antepaís de faixas móveis do Ciclo Brasileiro (1,1-0,5 Ga).

A evolução tectônica do Cráton do São Francisco está relacionada à do Cráton do Congo-Zaire, situado na África, do qual é sua extensão. Ambos exibem embasamento cristalino de idade arqueana e paleoproterozóica, bacias e rifts do Paleo/Mesoproterozóico com supracrustais e vulcanismos associados, além de extensas coberturas sedimentares neoproterozóicas e fanerozóicas (Trompette, 1994), conforme mostra a figura II.1.

II.2 - Arcabouço geológico-geocronológico da porção meridional do Cráton do São Francisco

A área, na qual estão situados os enxames de diques máficos aqui investigados, integra-se à porção meridional do Cráton do São Francisco, setor este envolvido pelas faixas móveis neoproterozóicas Araçuaí, à leste, Alto Rio Grande, à sul e Brasília, à oeste. Nessa porção, o embasamento polimetamórfico de idade arqueana e paleoproterozóica expõe-se da cidade de Belo Horizonte para sudoeste, sendo recoberto em discordância erosiva pelos sedimentos neoproterozóicos do Grupo Bambuí. Três tipos de terrenos podem ser individualizados: 1) complexos gnáissico-migmatíticos arqueanos, com associações granito-*greenstones*, 2) cinturões de rochas supracrustais paleoproterozóicas do Supergrupo Minas e 3) terrenos de médio a alto grau metamórfico, granitizados intensamente no Ciclo Transamazônico (Cordani & Brito Neves, 1982; Schorscher, 1992; Noce, 1995; Teixeira et al., 1996).

Figura II.1: Esquema geológico do Cráton do São Francisco (SF) e de porções relacionáveis do Cráton do Congo-Zaire (CZ). 1 = Coberturas fanerozóicas, sendo que aquelas sobre o Supergrupo São Francisco foram omitidas para evitar a poluição visual; 2 = Supergrupos São Francisco (Brasil), West-Congo (África) e equivalentes neoproterozóicos; 3 = Supergrupos Espinhaço (Brasil) e Mayombe (África) paleo/mesoproterozóicos; 4 = Embasamento indiferenciado pré-Brasiliano/Pan-Africano; 5 e 6 = Embasamento policíclico com metassedimentos e granitóides Brasilianos/Pan-Africanos. As faixas móveis neoproterozóicas (Brasilianas) estão evidenciadas ao redor do Cráton do São Francisco, bem como a área estudada, no seu setor sul (modificado de Trompette, 1994).

II.2.1 - Arqueano

O embasamento arqueano, situado ao sul da cobertura Bambuí e circundado a sudeste por uma província geocronológica deformada no Paleoproterozóico e denominada por Teixeira (1985) de Cinturão Mineiro, pode ser dividido, segundo Teixeira et al. (1996), em 3 complexos (fig. II.2): Belo Horizonte (norte), Bonfim (centro) e Campo Belo (centro-oeste). Tais complexos mostram rochas com idades entre 2,60 e 3,40 Ga, destacando o Neoarqueano como principal fase de formação de crosta continental.

Figura II.2: Esboço geológico da área investigada no setor sul do Cráton do São Francisco, com a localização dos três complexos metamórficos arqueanos, das seqüências supracrustais e do Cinturão Mineiro paleoproterozóico (modificado de Teixeira et al., 1996). 1 = Terrenos de alto a médio grau arqueanos; 2 = *Greenstone Belts* arqueanos; 3 = Supracrustais Minas paleoproterozóicas; 4 = Cobertura Bambuí neoproterozóica e sedimentos cenozóicos (estes últimos pontilhados); 5 = Cinturões móveis neoproterozóicos; 6 = Limites do cráton.

No Complexo Campo Belo foram encontradas as idades mais antigas do embasamento. Zircões de seus migmatitos apresentaram uma idade U-Pb (SHRIMP) de 3204 ± 12 Ma e ortognaisses forneceram idades Pb-Pb de $3076 +182/-170$ Ma e U-Pb de 3068 ± 19 Ma. (Teixeira et al., 1996). Contudo, há evidências de crosta continental ainda mais primitiva obtidas através da datação de zircões detríticos das seqüências do Supergrupo Rio das Velhas, região do Quadrilátero Ferrífero. Machado et al. (1996) obtiveram uma idade de 3539 ± 34 Ma para esses zircões.

Em geral, as rochas desse complexo possuem baixas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0,7001) e valores de μ_1 (método Pb/Pb) próximos de 8,18, o que evidencia um crescimento crustal por diferenciação mantélica nessa época (Teixeira et al., 1996).

Os complexos Belo Horizonte (Noce, 1995) e Bonfim (Carneiro, 1992) apontam a existência de uma crosta mesoarqueana ($>3,0$ Ga), já que núcleos de zircões de seus gnaisses fornecem idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 2920 Ma (Carneiro et al., 1995). No Neoarqueano, duas fases de eventos tectono-magmáticos estão bem caracterizadas no intervalo 2,8-2,6 Ga, sendo denominadas genericamente por Evento Rio das Velhas por Carneiro (1992). A primeira fase (2778-2773 Ma), identificada no Complexo Bonfim, envolveu retrabalhamento crustal e magmatismo em margem continental ativa com fechamento oceânico seguido por colisão continental (Carneiro et al., 1995 e Noce, 1995). Nesse ambiente, teriam sido gerados os Tonalitos Samambaia com idade U-Pb de $2778 \pm 3/-2$ Ma (Carneiro, 1992) e o Granito Caeté de idade U-Pb de $2776 \pm 7/-6$ Ma (Machado et al., 1992). A segunda fase (2712-2698) encerra o processo colisional e inicia uma granitogênese pós-tectônica representada pelas intrusões dos granitos Santa Luzia com idade U-Pb $2712 \pm 5/-4$ Ma (Noce, 1995) e Brumadinho com idade U-Pb de $2703 \pm 24/-20$ Ma (Machado & Carneiro, 1992). O Granodiorito Ibirité apresentou uma idade U-Pb de 2698 ± 18 Ma (Chemale Jr. et al., 1993).

O Evento Rio das Velhas corresponde à aglutinação e cratonização dos vários complexos metamórficos (e.g. Campo Belo, Belo Horizonte e Bonfim) do segmento meridional do Cráton do São Francisco e os estágios finais dessa cratonização encontram-se representados pelo granito Salto do Paraopeba, com idade U-Pb de 2612 ± 5 Ma (Noce, 1995) e pelo granodiorito Caio Martins, datado por Romano (1989) pelo método U-Pb com idade de 2593 ± 18 Ma.

As dimensões desse continente arqueano são incertas devido à cobertura Bambuí e as superimposições metamórficas, envolvendo retrabalhamentos, decorrentes da evolução do Cinturão Mineiro (Teixeira, 1985).

Associadas a esses complexos, encontram-se as rochas supracrustais do Greenstone de Piumhi e do Supergrupo Rio das Velhas. O primeiro é uma sequência metavulcano-sedimentar com cromitas (Fritzens et al., 1980) que aflora à oeste da área investigada. Um sill anortosítico pertencente à este *greenstone* produziu uma discórdia U-Pb com intercepto superior de $3116 \pm 10/-7$ Ma, interpretada como idade de cristalização do corpo (Machado & Schrank, 1989).

O segundo, Supergrupo Rio das Velhas, que constitui uma extensa faixa de afloramentos no Quadrilátero Ferrífero (Dorr, 1969; Inda et al., 1984; Schorscher, 1992) e à oeste e sudoeste do mesmo, é também um *greenstone-belt* típico, com suas rochas metavulcano-sedimentares. Seus contatos com as encaixantes são ora tectônicos, ora gradacionais. Admite-se para esse supergrupo uma divisão em três unidades litoestratigráficas (Inda et al., 1984): uma basal (Grupo Quebra-Osso), composta por rochas ultrabásicas komatiíticas e, subordinadamente, por rochas básicas e metassedimentos químicos como cherts e formações ferríferas tipo Algoma; uma intermediária (Grupo Nova Lima), formada por rochas vulcânicas básicas, vulcanoclásticas e epiclásticas; uma superior (Grupo Maquiné), de natureza epiclástica, constituída por quartzitos com níveis conglomeráticos, granada-micaxistos, muscovita-quartzo xistos e filitos. Ladeira (1980), por outro lado, sugere a colocação das metaultrabásicas komatiíticas do Grupo Quebra-Osso como unidade basal do Grupo Nova Lima.

Uma rocha vulcânica félsica tectonizada do Supergrupo Rio das Velhas foi datada pelo método U-Pb e produziu uma idade de $2776 \pm 13/-10$ Ma, que foi, a princípio, considerada a idade do Supergrupo Rio das Velhas. Porém, um zircão de uma vulcânica félsica fresca produziu uma idade $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ levemente discordante de 3029 ± 6 Ma (Machado et al., 1992), sugerindo a existência de sequências vulcano-sedimentares mais velhas que 2780 Ma.

Quer seja à oeste, SW e no interior do Quadrilátero Ferrífero, as rochas do Supergrupo Rio das Velhas se encontram, em grande parte, no facies xisto-verde do metamorfismo regional, localmente atingindo o facies anfibolito, como na região de Conselheiro Lafaiete.

Ressalta-se ainda para o Arqueano da região o aparecimento de rochas granulíticas básicas, as quais mostram-se em pequenas exposições ao sul de Campo Belo e em Perdões. Na região entre as cidades de Oliveira e Desterro de Entre Rios foram encontrados orto-granitóides do facies anfibolito alto, com textura granoblástica (prováveis granulitos com retrometamorfismo). Subordinadamente foram constatados enderbitos, os quais expõem-se, conjuntamente com charnockitos, entre as cidades de Campo Belo e Oliveira, bem como nos arredores de Passa Tempo (Machado Filho et al., 1984).

II.2.2 - Paleoproterozóico

Em termos gerais, o Paleoproterozóico está representado por metassedimentos detrítico-químicos que compõem o Supergrupo Minas, no Quadrilátero Ferrífero e adjacências, além de terrenos gnáissicos-migmatíticos e granitóides intrusivos.

A estratigrafia do Supergrupo Minas atualmente em uso é aquela elaborada por Door II (1969). Da base para o topo da seqüência exibem-se: Grupo Caraça (seqüência detrítica, formada em ambiente redutor revelado pela ocorrência de grãos arredondados de pirita e constituída por metaconglomerados, quartzitos e filitos da Fm. Moeda e filitos grafitosos da Fm. Batatal), Grupo Itabira (seqüência química formada já em ambiente oxidante e integrada por itabiritos da Fm. Cauê e calcários dolomíticos da Fm. Gandarela) e Grupo Piracicaba (seqüência detrítico-química, formada por metaconglomerados, quartzitos e xistos da Fm. Cercadinho, filitos com lentes de dolomitos da Fm. Fecho do Funil, quartzitos da Fm. Taboões, filitos da Fm. Barreiro e grauvacas, xistos, quartzitos e metaconglomerados da Fm. Sabará). Uma idade máxima de 2125 ± 4 Ma (U-Pb, zircão abradado de vulcânica félsica, Machado et al., 1989) é atribuída à Formação Sabará.

A coluna estratigráfica que aparece no trabalho de Inda et al. (1984) mostra mais uma unidade, o Grupo Itacolomi, sobreposto ao Grupo Piracicaba por discordância erosiva, e composto por quartzitos, filitos e conglomerados. Noce (1995) considera a Formação Sabará como um conjunto litológico distinto das demais formações do Grupo Piracicaba, elevando-a à categoria de Grupo Sabará.

Em geral, as litologias do Supergrupo Minas encontram-se no facies xisto-verde e, no Quadrilátero Ferrífero, apresentam contatos tectônicos com todas as demais unidades litológicas pré-cambrianas regionais. Ocorrem tipicamente dobras isoclinais recumbentes que exibem, via de regra, repetições/cavalgamentos por falhas de empurrão, além de megadobras (sinclinais e anticlinais maiores). Deformações no Supergrupo Minas causadas por soerguimentos de blocos do embasamento cristalino são também verificadas, como por exemplo, no Complexo Bação.

O ciclo Transamazônico coincide com um conjunto de processos sedimentares, tectônicos e magmáticos que delinearão o Supergrupo Minas (Teixeira, 1985), cuja sedimentação iniciou-se

por volta de 2575 ± 15 Ma (Renger et al., 1994 e Noce, 1995) em riftes formados sob regimes extensionais a partir de blocos crustais estabilizados no Arqueano. Neste período, depositam-se os sedimentos da Formação Moeda e, a seguir, inicia-se um longo período de estabilidade tectônica com a deposição, em ambiente plataformar, das formações Batatal, Cauê e Gandarela. Estudos geocronológicos Pb-Pb, em rocha total, de Babinski et al. (1995) mostram idade de 2420 ± 19 Ma para as rochas carbonáticas da Formação Gandarela.

Por volta de 2400 Ma inicia-se a sedimentação do Grupo Piracicaba em ambiente de abertura oceânica. Na fase compressiva após esta abertura, teria advindo uma subducção de crosta oceânica, cujo reflexo seria a intrusão de diversos corpos graníticos (Noce, 1995). A Formação (ou Grupo) Sabará é também atribuída a este período, dada a idade U-Pb de 2125 ± 4 Ma (Machado et al., 1992) encontrada em metagrauvaca com contribuição vulcânica.

Associados a evolução do Supergrupo Minas e Cinturão Mineiro estão os plutons graníticos, como o Batólito Alto Maranhão com idade de 2124 ± 2 Ma, os corpos de Ritópolis com idade Rb-Sr de 1932 ± 21 Ma (Quéméneur & Vidal, 1989), além do Maciço de Porto Mendes, com idade Pb-Pb de $1821 +179/-204$ Ma e $\mu_1 = 8,24$ (Teixeira et al., 1987), situado a SW da área investigada. Junto a este maciço, que corresponde às fases plutônicas mais tardias do Cinturão Mineiro, encontram-se seqüências correlatas ao Supergrupo Minas.

Os principais eventos transamazônicos de deformação e metamorfismo de natureza colisional ocorreram entre 2,1-2,0 Ga. O pico dos eventos apresenta idade U-Pb de 2041 ± 5 Ma em titanita do Complexo Bação. Alkmim et al. (1994) postularam duas manifestações distintas do Transamazônico na região do Quadrilátero Ferrífero, principalmente no seu setor oeste. A primeira é uma família de dobras e falhas de empurrão de orientação preferencial NE-SW, associadas a um transporte de massa crustal de SE para NW. Zonas de cisalhamento dúctil-rúptil, normais, que marcam, no setor leste do Quadrilátero Ferrífero, o contato entre as rochas mais jovens dos complexos metamórficos e supracrustais Rio das Velhas e Minas, são as feições mais típicas da segunda. Em conjunto, segundo Alkmim et al. (op. cit), tais manifestações Transamazônicas seriam o registro, em domínios distais, de antepaís, de um evento compressional, seguido da extensão pós-orogênica sugerida por Chemale Jr. et al. (1994). Deformações associadas às faixas móveis neoproterozóicas também atingiram as litologias do Supergrupo Minas, principalmente na porção leste do Quadrilátero Ferrífero.

Ao final desse item, é importante lembrar que o Estateriano, ou seja, o período superior do Paleoproterozóico, está representado, a NE da área investigada e ao norte do Quadrilátero Ferrífero, pela extremidade meridional das seqüências metassedimentares do Supergrupo Espinhaço (ver figura VII.1), cuja sedimentação e granitogênese de natureza alcalina associada desenvolveu-se na abertura de um rifte intracontinental. O período no qual se promoveu a referida sedimentação adentra-se ao Mesoproterozóico.

Na base do supergrupo está o Grupo Diamantina, de contexto de rifte, representado por quartzitos e metaconglomerados com intercalações vulcânicas. No topo, uma seqüência monótona de quartzitos e mica-xistos intercalados compõem o Grupo Conselheiro Mata, tendo sido os depósitos marinhos transgressivos do período pós-rifte. Idades Pb-Pb de vulcânicas ácidas da base do Supergrupo Espinhaço indicam uma deposição ao redor de 1,71 Ga, contemporânea à intrusão do Granito Borrachudos de idade Pb-Pb igual a 1729 ± 12 Ma (Dussin, 1994). Estas idades assemelham-se a outras mencionadas para a Cordilheira do Espinhaço (1,79-1,75 Ga) obtidas por Brito Neves et al. (1979) e Machado et al. (1989).

II.2.4 - Neoproterozóico

No Cráton do São Francisco, a cobertura sedimentar neoproterozóica Bambuí assume relevância devido à sua expressiva exposição geográfica e conotação tectônica.

Dentre os principais trabalhos sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco), destaca-se o de Dardenne (1978). Este autor dividiu, da base para o topo, o Grupo Bambuí nas seguintes formações: - Formação Jequitai, restrita à base e representante de uma glaciação em escala continental, ostenta um paraconglomerado com seixos de quartzito, calcário, dolomito, chert, gnaisses, mica xistos, granitos e vulcânicas, - Formação Sete Lagoas, mostrando lentes carbonatadas numa seqüência margosa-pelítica, - Formação Serra Santa Helena, com folhelhos e siltitos, - Formação Lagoa do Jacaré, caracterizada pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos lenticulares, com siltitos e margas, - Formação Serra da Saudade, marcada por seus folhelhos e argilitos verdes que passam progressivamente a siltitos feldspáticos

ou arcóseos em direção ao topo e, - Formação Três Marias, com seus siltitos e arcóseos verde escuros.

Na área investigada, a cobertura cratônica Bambuí está representada pelas Formações Sete Lagoas e Serra Santa Helena, que se distribuem segundo um arco desde a região norte até a oeste, mostrando feições de erosão regressiva sobre as rochas do embasamento cratônico. À medida que se aproxima das margens leste e oeste cratônicas, estes sedimentos pelito-carbonatados mostram-se ondulados, ou seja, afetados pelos empurrões brasileiros, enquanto que na porção cratônica central, eles estão horizontalizados. No embasamento, estes empurrões reativaram ruptilmente sistemas de falhamentos transcorrentes de direções principais NE e NW que, no campo, apresentam-se na forma de cataclasitos (Chaves, 1996).

Inferências sobre a borda original da bacia neste setor meridional do Cráton do São Francisco foram efetuados por Machado Filho et al. (1984), situando-a nas imediações da cidade de Oliveira.

Dados isotópicos Rb-Sr indicam que o evento Bambuí ocorreu entre 570-640 Ma, enquanto que uma isócrona Pb-Pb (690 ± 70 Ma) sugere que seu início deve ter sido um pouco anterior (Kawashita, 1996). Contudo, Babinski (1993) posiciona seu início por volta de 900 Ma com base na evolução isotópica de Pb e dados Pb-Pb.

II.2.5 - Fanerozóico

Sedimentos detríticos depositados em bacias cenozóicas por sobre a cobertura neoproterozóica Bambuí são as feições geológicas que remetem ao fanerozóico regional.

A partir do exposto, nota-se uma evolução policíclica para o setor sul do Cráton do São Francisco, com base nas interpretações integradas das informações geológico-geocronológicas disponíveis.

CAPÍTULO III - COMPILAÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS

III.1 - Compilação de conhecimentos sobre os enxames de diques máficos pré-cambrianos do globo

III.1.1 - Introdução

Com exceção de dois diques inferidos como mesozóicos, os demais enxames do setor sul do Cráton do São Francisco são pré-cambrianos. Por isso, será apresentada a seguir uma breve compilação de conhecimentos sobre enxames pré-cambrianos aflorantes em diversas partes do globo. São enfatizados os aspectos que auxiliam na caracterização dos diques existentes na área pesquisada, a começar pelo questionamento de duas “meias verdades” do meio científico nacional, colocadas em trabalhos como Almeida (1986): a primeira, que afirma que a intrusão de diques máficos é basicamente controlada por zonas de fraqueza pré-existentes como falhas e fraturas e, a segunda, que eles somente se posicionam na litosfera quando ela está sujeita a esforços extensionais *sensu strito*.

A palavra “enxame” é aqui tomada em seu significado real, ou seja, um enxame consiste em um conjunto de diques máficos geneticamente relacionados, de direções preferenciais normalmente bem definidas.

III.1.2 - Características gerais

Os enxames de diques máficos são feições comuns nas plataformas de todo o mundo. Com poucas exceções, a ocorrência de enxames de diques está ligada a processos tracionais, direta ou indiretamente como expressão de extensão da litosfera continental, da mesma maneira que “sheeted dykes” em centros de expansão oceânicos representam extensão da litosfera oceânica em limites de placa construtivos (Condie, 1989).

Ao longo dos últimos 3,0 Ga, desde o aparecimento dos primeiros núcleos litosféricos rígidos, se têm formado enxames de diques máficos. Através de análise estatística, Halls (1987) mostrou que os períodos em torno de 2,9; 2,2-1,9; 1,3-1,1; 0,9-0,6 e 0,2-0,1 Ga correspondem aos

máximos desta atividade fissural. Estes períodos são considerados como intervalos do tempo geológico de grande atividade do manto, repercutindo na litosfera continental, onde estas datas ficam registradas na forma de diques. Apesar de alguns enxames de diques terem intrudido a crosta continental no Arqueano e no Fanerozóico, o Proterozóico parece ter sido o período de maior intensidade de injeção crustal de material básico. Realmente, os enxames proterozóicos tendem a ser mais significativos em termos do número, largura e comprimento dos diques. Isto pode significar que condições particulares de tensão crustal, associadas a elevados gradientes geotermiais e rápida convecção mantélica, existiram no Proterozóico.

Em termos individuais, a espessura dos diques varia de <1m a >500m, com média de 20-40m, chegando a ter mais de 500Km de comprimento (Halls, 1982). A maior parte dos diques apresenta direções e mergulhos constantes ao longo de grandes distâncias. Os diques estão quase sempre na vertical, desviando-se dela em, no máximo, 20°.

Os enxames, que ocorrem em todos os escudos pré-cambrianos (p.e., Austrália, Índia, China, Rússia, Escudo Báltico, Antártica, Groenlândia, África, Brasil, Canadá), podem incluir muitos milhares de diques. Superficialmente, a área dos enxames pode mostrar mais de 500Km de largura, atingindo acima de 3000Km no comprimento. O fato de que os diques aparecem subparalelos num determinado enxame indica que o campo de stress é constante ao longo de grandes distâncias. Entretanto, os diques não estão uniformemente distribuídos através de um determinado cráton, mas encontram-se concentrados em certas zonas, com outras regiões permanecendo pobres em diques ou mesmo sem indícios dos mesmos, indicando que as condições de stress foram localizadas. De qualquer modo, as verdadeiras dimensões areais cobertas pelos enxames de diques posicionados amplamente ao mesmo tempo podem ter implicações significativas com relação à profundidade e tamanho das fontes magmáticas. Em regiões menos estáveis, os enxames de diques encontram-se eventualmente afetados por atividade orogênica e, a partir daí, podem potencialmente ser importantes marcadores do tempo geológico e do grau do metamorfismo que os afetou.

A pesquisa dos diques máficos é ainda importante em estudos de ampla escala geológica tais como: (1) a reunião de blocos continentais pré-cambrianos nas suas posições originais relativas, utilizando padrões de diques e suas assinaturas paleomagnéticas e geoquímicas, (2) a avaliação de padrões de stress crustal no tempo e no espaço e a relação destes padrões com as forças que

criaram a redistribuição continental, (3) a relação dos enxames de diques com outros eventos geológicos associados com os processos relativos ao desenvolvimento dos diques, tais como plumas mantélicas, rifteamento ou mesmo zonas de cisalhamento em regime transcorrente, (4) o monitoramento da evolução do manto, já que os diques injetaram em intervalos diferentes do tempo geológico.

III.1.3 - Morfologia e atributos geológicos dos diques

Diques máficos são intrusões tabulares de magmas de baixa viscosidade que cortam as rochas encaixantes em alto ângulo. Eles estão dispostos verticalmente e podem se prolongar desde a sua (presumível) fonte mantélica até níveis relativamente altos na crosta. Nestes últimos, com rochas encaixantes frias e diques pouco espessos, o canal do dique pode existir somente durante horas ou dias, porém, em níveis crustais profundos, onde a temperatura das rochas encaixantes se assemelha à do metamorfismo de grau muito alto e onde as espessuras dos diques podem atingir dezenas ou mesmo centenas de metros, o canal do dique pode permanecer aberto por centenas de milhares de anos. Todavia, em qualquer profundidade os diques são orientados relativamente ao estado de stress naquela profundidade.

Particularmente em condições de crosta superior de comportamento rúptil, Motoki & Vargas (1990, 1994) afirmam que a própria pressão do magma cria uma fratura perpendicular ao eixo principal σ_3 do esforço e o magma intrude preenchendo a fratura. Esta afirmação, apoiada por vários outros trabalhos como o de Emerman & Marret (1990), questiona a idéia tradicional (p.e., Almeida, 1986) de que diques máficos intrudem basicamente em zonas de fraqueza pré-existent.

Com relação à direção de propagação do fluxo magmático em diques, aspecto importante na definição do posicionamento da fonte magmática, levanta-se a seguinte questão: a propagação do fluxo magmático foi mais intensa vertical ou horizontalmente? Estudos de anisotropia da susceptibilidade magnética (AMS) tem recentemente ajudado a elucidar a questão. Sabe-se que os magmas dos diques podem penetrar horizontalmente em fraturas verticais por muitas dezenas de quilômetros a partir de centros magmáticos recentes na Islândia e Havaí, bem como por 200Km a partir de centros Terciários no NW da Escócia, e que suas composições podem permanecer constantes ao longo de seu comprimento (Halls & Fahrig, 1987). Sobre o espetacular

enxame Mackenzie no Canadá, que irradia por mais de 2500Km a partir de um "centro" marcado pela Intrusão Muskox, Ernst (1990) demonstrou, com base em estudos AMS, que o magma penetra horizontalmente à medida que se afasta desse "centro". LeCheminant & Heaman (1989) propuseram que este enxame Mackenzie esteve centrado sobre a cabeça de uma pluma mantélica de mais de 1000Km de diâmetro, seguindo o modelo de White & Mckenzie (1989) para derrames basálticos continentais.

III.1.4 - Os mecanismos de intrusão dos diques

A seguir são feitos a apresentação e comentários a respeito de dois mecanismos de intrusão de diques máficos considerados importantes para o presente trabalho (Parker et al., 1990; Halls & Fahrig, 1987).

III.1.4.1 - REGIME EXTENSIONAL

Dentro de uma perspectiva atual da tectônica global, os enxames de diques máficos parecem formar-se em associação com eventos de rifteamento na maioria dos casos, significando extensão da crosta continental, onde a amplitude de afloramentos dos diques indica taxas de extensão crustal comuns da ordem de 5-10% (Cadman et al., 1990).

Segundo Fahrig (1987), o desenvolvimento de diques máficos se dá numa seqüência de três eventos principais (figura III.1):

- (1) Desenvolvimento de um centro ou zona de distensão, associada com intrusão de diques, rifteamento e vulcanismo. No início do rifteamento, os diques desenvolvem padrões radiais a partir de fontes pontuais (junções tríplexes, p.e.). Este evento pode ser o único, não se desenvolvendo (ou pouco se desenvolvendo) o evento seguinte.
- (2) Início do espalhamento ("drift"), com os diques se agrupando em duas categorias, alinhados às margens do braço abortado (voltado para o continente) e o conjunto formado em paralelo às margens continentais em desenvolvimento. O desenvolvimento dos diques pode cessar nos primeiros momentos, haja visto que o magmatismo ficará provavelmente concentrado ao longo da cadeia oceânica em expansão.

(3) No fechamento da bacia oceânica aberta nos estágios anteriores, os diques formados paralelamente às margens serão deformados fortemente ou consumidos durante a colisão continental. Apenas os diques do braço abortado poderão ser preservados e ficarão contidos no interior do continente, diagonal ou perpendicularmente à linha de sutura.

Apesar deste esquema parecer muito simples, Fahrig (op. cit.) aponta que a maioria dos grandes enxames do escudo canadense exibe feições diagnósticas deste processo, ou de parte dele, refletindo a possibilidade da sua sustentação enquanto modelo de posicionamento crustal dos diques.

Figura III.1: Ilustração dos três eventos da evolução tectônica dos enxames de diques máficos (segundo Fahrig, 1987).

III.1.4.2 - REGIME DE TRANSCORRÊNCIA

Vários pesquisadores (Escher et al., 1975; Wilson et al., 1985; Park & Tarney, 1987; Cadman et al., 1990) têm observado que muitos enxames de diques máficos parecem estar aproximadamente paralelos a grandes zonas de cisalhamento em regime de transcorrência, estando os diques associados e afetados por estas zonas. Park & Tarney (op.cit.) afirmam que muitos diques do paleoproterozóico, posicionados em terrenos de médio a alto grau metamórfico da Escócia e Groenlândia, mostram margens cisalhadas em virtude da movimentação horizontal ao longo das zonas de cisalhamento transcorrente nas quais estão inseridos. Estas observações deixam claro que diques máficos podem ter sua gênese, portanto, ligada ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrente.

Em termos gerais, é possível entender as relações entre diques e regime de transcorrência conforme apresentado na fig. III.2. Em III.2a, não existe componente de cisalhamento associado e, portanto, não é transcorrência. Em III.2b, existe um significativo movimento dextral acompanhado por extensão; assim, o movimento continuado após a solidificação do dique conduzirá ao aparecimento de margens cisalhadas no mesmo (III.2c). Na prática, nenhuma zona de cisalhamento transcorrente é perfeitamente retilínea, o que permitirá o desenvolvimento de zonas alternadas de extensão e compressão, conforme mostra a figura III.2d. Portanto, os segmentos transtensionais que permitem a fácil intrusão de magma básico (geralmente pouco viscoso) podem subsequenteiramente tornar-se zonas de cisalhamento simples ou mesmo de transpressão, com o desenvolvimento de margens cisalhadas nos diques.

Segundo Cadman et al. (1990), existe um fator adicional de relevância a ser considerado: em diques que se estendem através de uma espessura apreciável da crosta continental, o tempo para a solidificação da parte mais profunda do dique deve ser muito mais longo do que aquele para as partes mais superiores do dique. Se movimentos transcorrentes ocorrem durante estes longos períodos, eles não serão registrados nas partes profundas (ainda líquidas) do dique, mas o dique por si mesmo ainda representará uma zona de fraqueza linear importante na crosta, que atuará como um “locus” para movimentos transcorrentes. Nas partes superiores solidificadas do dique deve se desenvolver texturas de cisalhamento com grau metamórfico equivalente àquele das rochas encaixantes. Tais texturas são mais prováveis de se desenvolverem em níveis crustais intermediários (fácies anfíbolito) enquanto a deformação em níveis ainda mais altos se dará por

fraturamento rúptil. De toda maneira, as zonas de cisalhamento desenvolvidas atuam como canais importantes para a migração de fluidos, que por si só auxiliam no desenvolvimento de texturas de cisalhamento nas margens dos diques.

Figura III.2: (a) Stress extensional acompanhado por preenchimento de magma. (b) Transtensão: cisalhamento simples dextral acompanhado por extensão permite que o magma intruda. (c) Após a solidificação, o cisalhamento simples posterior produzirá margens cisalhadas nos diques. (d) Diques posicionados ao longo de zonas de cisalhamento não-lineares permanentemente ativas que podem mostrar feições tanto transtensionais como transpressionais (Cadman et al., 1990).

III.1.5 - Composição e aspectos da cristalização

As características geoquímicas e petrológicas de um dique dependem de vários fatores incluindo a profundidade e composição do material fonte, o grau de fusão desta fonte, o grau de diferenciação magmática (cristalização fracionada, etc.), o grau de contaminação crustal e as transformações metamórficas subsequentes à solidificação do magma.

Em termos composicionais, os diques proterozóicos de todo o globo mostram-se essencialmente como basaltos toleíticos (quartzo-toleíticos). Porém, alguns diques de idade arqueana/paleoproterozóica parecem corresponder a basaltos de composição picrítica (alto Mg), enquanto outros ainda menos expressivos, normalmente de idade neoproterozóica, são alcalinos (Hall & Hughes, 1990; Tarney, 1992; Baer & Heimann, 1995).

III.1.5.1 - QUARTZO-TOLEÍTOS

A maior parte dos diques máficos quartzo-toleíticos pré-cambrianos apresenta textura não-porfirítica. Os minerais essenciais são piroxênio (augita), plagioclásio e titanomagnetita, com granulação fina a vítrea nas margens dos diques, chegando a ser gabróica no centro dos diques mais espessos, ou seja, eles podem ser considerados doleritos (ou diabásios) com centro de grão mais grosso em função do resfriamento mais lento nesta porção interior do dique. Contudo, são conhecidos diques toleíticos que contêm quantidades significativas de minerais hidratados primários como hornblenda e biotita.

Embora não representem maioria, alguns diques pré-cambrianos mostram abundantes fenocristais de plagioclásio. Nestes casos, estima-se que os diques se posicionaram em níveis crustais elevados, onde há baixa atividade de água a ponto de a cristalização dos fenocristais de plagioclásio não ser suprimida. Da mesma maneira que os diques não-porfiríticos, eles mostram “matriz” constituída essencialmente por piroxênio, plagioclásio e titanomagnetita. A maior parte destes diques porfiríticos, segundo Cadman et al. (1990), apresenta margem não-porfirítica e um centro porfirítico relativamente espesso, com diminuição do tamanho dos fenocristais de plagioclásio do centro (chegam a ter até 20cm de comprimento) para as porções de borda. A viscosidade dos magmas quartzo-toleíticos parece ser alta o suficiente para permitir o assentamento dos fenocristais, porém, o fluxo é processo mais importante que o assentamento gravitacional na segregação dos fenocristais. Seguindo o modelo da diferenciação no fluxo (Bhatthacharji & Smith, 1964) e o modelo da acreção diferencial (Platten & Watterson, 1987), os diques com margens não-porfiríticas e centros porfiríticos espessos requerem um curto período de fluxo muito rápido durante o posicionamento, seguido por um período longo de estagnação e solidificação.

III.1.5.2 - DIQUES PICRÍTICOS

Ainda que menos comuns, ocorrem diques pré-cambrianos com altos conteúdos de MgO. Entre eles estão diques noríticos, olivina-gabros e picritos bronzitíticos. Todos eles representam maiores temperaturas do *liquidus* do que os quartzo-toleitos, sendo também menos viscosos que eles. As olivinas e piroxênios representam a mineralogia mais abundante, estando o plagioclásio a desempenhar um papel restrito de cristalização tardia intersticial. Alguns diques picríticos

mostram minerais hidratados como a flogopita. Ao contrário dos diques toleíticos, os picríticos representam material máfico mais refratário.

III.2 - Compilação de conhecimentos sobre os enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco

Os enxames de diques máficos da área investigada foram por muito tempo conhecidos na literatura como “enxame” Pará de Minas (p.e., Oliveira & Montes, 1984) e descritos como lineamentos finos e contínuos ao longo de centenas de metros a dezenas de quilômetros, com espessuras variáveis, que vão de alguns metros a dezenas de metros sendo que, de um modo geral, são frequentes espessuras médias em torno de 40m. A disposição dos diques é vertical a subvertical e eles apresentam-se, em superfície, alterados intempericamente. Amostras frescas são encontradas na forma de blocos arredondados “in situ” e, menos regularmente, em exposições dos diques em cursos d’água.

Os enxames de diques seccionam o embasamento cristalino e, muitos dentre eles, também as seqüências supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas. Não são encontrados cortando os sedimentos do Grupo Bambuí, o que lhes confere importância em termos cronoestratigráficos para as rochas do referido grupo.

Descrições adicionais sobre esses diques são encontradas também em Richter et al. (1975), Menezes Filho (1977), Pereira et al. (1984) e Machado Filho et al. (1984).

Um dos primeiros trabalhos sobre rochas básicas desta região sul do Cráton de São Francisco foi feito por Biondi et al. (1978), no qual tentam distinguir vulcanismos com base em geoquímica. Parenti Couto et al. (1983) delinearam considerações a respeito dos distintos magmatismos básicos com base em datações K-Ar.

Segundo Oliveira & Montes (1984) e Teixeira et al. (1988), os diques correspondem, petrograficamente, a variedades de composição básica, sendo texturalmente classificados como basaltos, gabros e diabásios. Eventualmente exibem texturas porfiríticas com cristais de plagioclásio de até 5cm na sua maior dimensão. Geoquimicamente, são quartzo-toleítos

constituídos por plagioclásio, augita, opacos, apatita, hornblenda e algum quartzo. Os últimos autores observaram alterações hidrotermais e/ou deutéricas, de intensidade variável. Tais alterações são caracterizadas por cloritização, sericitização, epidotização e carbonatação dos plagioclásios. Os piroxênios encontram-se às vezes uralitizados. Teixeira et al. (op. cit.) descreveram ainda, texturas granoblásticas e poiquiloblásticas em alguns diques.

Romano (1989) destacou os diques da área investigada em um dos capítulos de sua Tese de Doutorado, associando-os ao evento extensional Espinhaço. D'Agrella Filho & Pacca (1991, 1993) realizaram estudos paleomagnéticos preliminares dos diques.

Já Carneiro (1992) caracterizou quatro gerações de diques máficos, com diferentes graus de recristalização metamórfica, na região do Complexo Bonfim. Denominou-as de 1 - Anfíbolitos Paraopeba, corpos boudinados no interior de gnaisses e com idade inferida ao Arqueano Superior, apesar de apresentarem idades K-Ar em hornblendas transamazônicas (entre 1991 e 2157 Ma); 2 - Anfíbolitos Candeias, que aparecem como diques por todo o Complexo Bonfim, sendo também considerado do Arqueano Superior, com idades K-Ar em hornblendas da ordem de 1707 Ma; 3 - Metadiabásios Conceição de Itaguá, também aflorando por todo o complexo, mostram corpos faneríticos a porfíricos, com fenocristais de plagioclásio, e apresentam idade K-Ar em hornblendas de cerca de 1006 Ma, por eles interpretada como de cristalização destes diques; e 4 - Diabásios Santa Cruz, não foliados e de granulação fina, normalmente alterados, sem qualquer determinação de idade.

Cabe destacar que o mesmo autor em sua publicação do ano seguinte (Carneiro & Teixeira, 1993) agrupa, com base em atributos geológicos e geoquímicos, as gerações 1 e 2 numa suíte e as gerações 3 e 4 noutra. A primeira suíte pode ser correlacionada aos diques do enxame E3, enquanto a segunda pode ser associada aos diques do enxame E4 dessa Tese, dadas as semelhanças geológicas, petrográficas e geoquímicas.

Na região do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, Silva et al. (1995) apontam a existência de três enxames de diques, sendo o mais antigo com direção N-S, metamorfisado, e relacionado à abertura da bacia Espinhaço (1714 Ma, U-Pb em baddeleyita), o intermediário, também descrito por Dussin (1994), metamorfisado na maior parte dos afloramentos, com idade de 906 Ma (Machado et al., 1989) e direções NE-SW, e o mais novo, mesozóico (220-170 Ma,

segundo Dussin, 1994 e 120 Ma, segundo Silva et al. op. cit.), mostra diques ígneos sem deformação, orientados em todas as direções, com gênese relacionada à separação da América do Sul e África. Todos os enxames são geoquimicamente compostos por toleítos posicionados em rifts continentais.

O mais antigo enxame de Silva et al. (1995) pode ser relacionado ao enxame E4, o intermediário ao enxame E5 e o mais novo ao enxame E6 dessa Tese.

O autor, em seu Mestrado (Chaves, 1996), realizou um mapeamento dos diques na região do chamado Complexo Belo Horizonte (ver fig. II.2), tendo caracterizado duas gerações de diques. O primeiro enxame remonta ao Paleoproterozóico e intruiu nas porções transtensionais de zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas (ZCT). Estes diques sintectônicos encontram-se metamorfisados no facies anfibolito alto, pois ostentam paragênese que inclui coronas de granadas metamórficas, e mostram margens cisalhadas, as quais são o registro dos movimentos horizontais das ZCT após a consolidação magmática dos diques. A composição química original destes diques, que correspondem ao enxame E3 dessa Tese, praticamente não foi modificada pelo metamorfismo e eles representam basaltos toleíticos continentais pouco diferenciados.

O segundo enxame corta o primeiro e ostenta diques com textura e mineralogia ígneas preservadas, apenas com alterações hidrotermais. Tratam-se de toleítos continentais mais evoluídos que os diques do primeiro. Dados de anisotropia da susceptibilidade magnética preliminares em diques deste enxame mostraram direções de fluxo magmático subhorizontais a horizontais. Este enxame correlaciona-se ao enxame E4 dessa Tese.

Pinese (1997) distinguiu, na região de Lavras, extremo sul do Cráton do São Francisco, cinco tipos de diques máficos: 1 - básico-norítico (DBN, 2658 ± 44 Ma, isócrona Sm/Nd), 2 - básico 1 (DB1), integrando ambos numa mesma suíte; 3 - básico 2 (DB2), 4 - metabásico (DMB) e 5 - anfibolítico (DA). Para os tipos 4 e 5, dados geoquímicos e de isótopos Rb/Sr dos tipos DA e DMB sugerem que eles são relacionados aos do tipo 3 (1875 ± 101 Ma, errócrona Rb/Sr, MSWD = 24). Os diques de Lavras teriam se originado, portanto, de duas fontes diferentes.

Para Pinese (op. cit.), em termos tectônicos, os diques DBN e DB1 (que se associam aos diques do enxame E1 dessa Tese), originaram-se durante um episódio de rifteamento após o evento Rio das Velhas (2,78-2,70 Ga) e os diques DB2, DMB e DA se formaram dentro da margem do continente arqueano durante a fase extensional tardia da evolução paleoproterozóica do Cinturão Mineiro adjacente.

É possível que os últimos três tipos contenham diques mais recentes, pois o próprio Pinese (op. cit.) aponta uma idade K-Ar em rocha total de 127 ± 3 Ma para uma amostra do tipo DB2. A grande maioria desses três tipos, porém, pode ser correlacionada aos diques do enxame E3 dessa Tese, principalmente os DMB e os DA. Contudo, conforme se verá na sequência desse trabalho, os diques E3 são um pouco mais antigos, de idade por volta de 2,2 Ga, e de gênese relacionada ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrente.

Esta região meridional do Cráton do São Francisco e adjacências parecem apresentar, portanto, manifestações de magmatismo básico na forma de diques do Neoarqueano, do Paleoproterozóico, do Neoproterozóico, bem como do Mesozóico.

CAPÍTULO IV - OS ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS DA ÁREA INVESTIGADA

A seguir serão apresentadas informações geológicas a respeito dos diferentes enxames de diques máficos encontrados no setor sul do Cráton do São Francisco. Diferenciar os corpos em afloramento não é das tarefas mais fáceis pois, com exceção de alguns diques anfibolíticos, guardam similaridades quanto à coloração (tons verde-escuro a quase negros), granulação (maioria fina a média) e textura (semelhante à de doleritos ou diabásios). Para as pessoas que habitam próximo aos afloramentos, a rocha dos diques é conhecida como “pedra-ferro”, em virtude do som igual ao do ferro que emite quando atingida pelo martelo, ou “cabo-verde”, dada a sua coloração verde escura.

Invariavelmente, os enxames mostram corpos que constituem lineamentos finos e contínuos ao longo de centenas de metros a algumas centenas de quilômetros, muitos deles perceptíveis em fotografias aéreas e imagens de satélite. Em virtude desse fato, os estudos fotointerpretativos que visaram a prévia localização dos lineamentos foram imprescindíveis.

Os diques têm espessuras variáveis, que vão de alguns metros a dezenas de metros sendo que, de um modo geral, são freqüentes espessuras médias em torno de 40m. A sua disposição é vertical a subvertical e, como se percebe, individualmente os diques são corpos tabulares cujas dimensões comprimento e profundidade são extremamente grandes em relação à sua terceira dimensão - a largura.

Em superfície, os diques apresentam-se alterados intempericamente na maior parte dos casos. Amostras frescas são encontradas na forma de blocos arredondados "in situ" e, menos regularmente, em exposições em cursos d'água ou cortes de estrada.

Em função das semelhanças entre os diques dos diferentes enxames aflorantes na área investigada, pode parecer estranho prosseguir nesse capítulo separando os enxames. Os critérios definitivos de separação aparecerão nos capítulos subseqüentes (petrografia, geoquímica e geologia isotópica) mas, obviamente, determinaram as separações feitas a seguir. Outros critérios de campo, como a direção dos corpos, muitas vezes não são facilmente distinguidos em afloramento ou são semelhantes para diques de enxames diferentes e, por isso, não são determinantes para a classificação dos grupos.

IV.1 – Enxame 1 (E1)

Por se tratarem basicamente de dois corpos com cerca de 50 quilômetros de extensão cada, dentro da área investigada não chegariam a compreender um enxame propriamente dito. Um deles é encontrado nos pontos 314 e 316, localizados próximos a cidade de Campo Belo, enquanto o outro aparece nos pontos 323, próximo a cidade de Oliveira, e 331, nas imediações de Santo Antonio do Amparo, porção extremo sul da área investigada.

Esses diques, com 10-40 metros de largura e direções N30W (323 e 331) e N70W (314 e 316), preservam o aspecto ígneo. Eles cortam rochas gnáissico-migmatíticas e granulíticas do Complexo Campo Belo, truncando a foliação dessas litologias, e são cortados por diques de enxames mais recentes.

Outros diques próximos e semelhantes aos encontrados nesses pontos foram ricamente estudados por Pinese (1997) na região de Lavras, imediatamente ao sul da área.

Agrupando-os numa suíte denominada básico-norítica, Pinese (op. cit.) rotulou tais diques como DBN e DB₁. Os diques dos pontos 323 e 331 (fotografia IV.1) estariam correlacionados aos referidos DBN, enquanto aqueles dos pontos 314 e 316 assemelhariam-se aos DB₁, que para o referido autor, são o prosseguimento evolutivo dos DBN.

Portanto, apesar dos dois diques E1 não chegarem a compreender um enxame dentro da área investigada, se forem considerados em conjunto com os diques DBN e DB₁ de Pinese (op. cit.), o enxame estaria configurado.

IV.2 – Enxame 2 (E2)

Com afloramentos pobremente preservados, este enxame de diques máficos, diferentemente dos demais, mostra seus corpos dispostos radialmente para NW, W e SW a partir da região do Quadrilátero Ferrífero.

Fotografia IV.1: Dique máfico E1 do ponto 331, de direção N30W e 15 metros de largura, em corte da BR-381, próximo a Santo Antonio do Amparo. As pessoas da foto estão próximas ao contato do dique, à esquerda, com um migmatito, à direita.

Quanto às características dos seus diques, são corpos de largura variando entre 10 e 50 metros, com comprimento entre 20 e 100 quilômetros, se considerados os prolongamentos entre os mesmos. A maior parte é geralmente afanítica, sendo que alguns corpos ostentam amígdalas milimétricas preenchidas por clorita. Todos os corpos visitados guardam as características ígneas preservadas, e cortam as litologias arqueanas do *greenstone-belt* Rio das Velhas e dos complexos granito-gnáissico-migmatíticos Campo Belo, Belo Horizonte e Bonfim, truncando ou não as suas foliações. Seus corpos cortam os diques do enxame E1 e são cortados por diques mais jovens.

Uma hipótese aqui proposta consiste em que estes diques sejam marcadores do evento extensivo gerador da bacia que teria recebido os sedimentos do Supergrupo Minas, na transição Arqueano-Paleoproterozóico.

IV.3 – Enxame 3 (E3)

Um diferencial entre os diques do enxame E3 e aqueles dos demais enxames consiste na constatação de que a maior parte dos corpos E3 encontra-se metamorfisada. A rocha desses diques é um anfibolito, principalmente nas suas porções marginais, as quais podem ser caracterizadas como “sheared margins”. Nas porções centrais dos diques caracteriza-se macroscopicamente um metagabro. Menos expressivamente, ocorrem também diques que foram originalmente porfiríticos quando da sua fase ígnea que, contudo, mostram seus antigos fenocristais de plagioclásio deformacionalmente rotacionados (fig. IV.1).

Contudo, alguns dos diques desse enxame encontram-se pouco ou praticamente nada deformados, preservando sua textura ígnea original, como é o caso dos diques dos pontos 330 (datado neste trabalho) e 375.

Este enxame mostra diques cortando tanto gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, como também as litologias do Supergrupo Rio das Velhas, sempre truncando suas foliações. Não são encontrados cortando litologias do Supergrupo Minas nem aquelas do Supergrupo São Francisco (Grupo Bambuí).

Individualmente, os diques constituem discretos lineamentos ao longo de centenas de metros a poucas dezenas de quilômetros e têm larguras que vão de 2m a cerca de 80m, com média de 30m. Aparentemente, cortam os diques do enxame E2 e são certamente cortados por diques mais recentes, em vários locais.

Reconhecimentos estruturais na área investigada evidenciaram a presença de zonas de cisalhamento transcorrente (ZCT), de caráter dúctil, afetando rochas dos complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, além das litologias do Supergrupo Rio das Velhas. Estas ZCT mostram disposição vertical a subvertical e direções N10-30W (predominante) e N50-70E (subordinada).

Um evento compressivo transamazônico de sentido aproximado SE → NW, assinalado por Alkmim et al. (1994) no Quadrilátero Ferrífero, é aqui entendido como o responsável pelo surgimento destas ZCT. As ZCT predominantes, de movimentação sinistral, e as ZCT subordinadas, de movimentação dextral, ambas apontadas por *slikensides* e *steps* nos espelhos de

falha, formam pares conjugados e simétricos em relação ao stress compressivo máximo horizontal (σ_1). Os ângulos formados com este último são obtusos, o que corrobora o comportamento de tendência dúctil destas ZCT (Hasui & Costa, 1988).

O mapeamento realizado revelou que os diques E3 apresentam direções preferenciais N0-20W, que correspondem àquelas das ZCT predominantes, componentes mais desenvolvidas dos pares conjugados. Esta observação pode ser explicada pela intrusão sintectônica dos diques nas porções transtensionais destas ZCT predominantes, os quais, após a consolidação magmática, foram metamorfisados em função da continuidade dos movimentos horizontais, via cisalhamento simples ou mesmo transpressão, ao longo das ZCT transamazônicas. Essa movimentação pode, então, ter originado as “sheared margins” nos diques, o que está de acordo com o modelo de CADMAN et al. (1990), apresentado na figura III.2. Os diques E3 indeformados devem ter se preservado da referida movimentação das ZCT.

Em alguns diques originalmente porfiríticos, é possível notar a assimetria de zonas de sombra (fig. IV.1A) ou feições de rompimento e deslocamento de subgrãos (fig. IV.1B), nos megacristais de plagioclásio que rotacionaram durante a movimentação das ZCT, servindo também como indicadores cinemáticos sinistrais.

Figura IV.1: Megacristais de plagioclásio deformacionalmente rotacionados, que servem como indicadores cinemáticos do movimento das ZCT sobre os E3. Em (A), é percebida a assimetria de zonas de sombra no plagioclásio (ponto CON 22) e, em (B), o plagioclásio foi seccionado e o subgrão deslocado (ponto 229). Em ambos os casos, o movimento foi sinistral.

Em toda a extensão da área investigada, a maior parte das zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas foi reativada no Neoproterozóico como falhas rúpteis. Desta forma, o material que aparece nestas falhas, quartzo-sericítico, consiste em cataclasitos. Na topografia do terreno, estes cataclasitos se destacam como cristas finas e contínuas que, em imagens de satélite, se assemelham às feições dos diques.

IV.4 – Enxame 4 (E4)

Este enxame E4 é o mais expressivo em termos de número e dimensões de corpos dentre os enxames investigados no setor sul do Cráton do São Francisco. Em superfície, estes corpos notáveis constituem lineamentos finos e contínuos de direções constantes N50-60W que se destacam em imagens de satélite e, principalmente, no mapa aeromagnético da figura IV.2, ampliado de Monteiro & Sinclair (1996). Alguns deles chegam a ter cerca de 150 quilômetros de comprimento, sem mencionar os seus prolongamentos por sob a cobertura Bambuí. Se considerados, estes diques podem ter mais que o dobro do comprimento. Suas larguras vão desde 10m a 100m (média 50m).

O material dos diques tem feições de diabásios, haja visto que os mais largos apresentam-se faneríticos, com cristais de plagioclásio e piroxênio visíveis a olho nú, de até 5 mm. A textura ígnea predominante é a subofítica. Em alguns desses corpos são notados diferenciados félsicos, ou seja, porções internas mais evoluídas de diques espessos, onde concentram-se minerais félsicos, como é o caso do ponto 274, que foi coletado, entre outros propósitos, para estudos geocronológicos. No contato com as encaixantes, os diques mostram bordas afaníticas a vítreas.

A maior parte dos diques mostra blocos arredondados *in situ*, conforme mostra a fotografia IV.2. Em poucos afloramentos preservados em cursos d'água, a observação dos diques é privilegiada, sendo possível notar feições do fluxo magmático que indicam que o sentido do mesmo teria ocorrido de NW para SE (fotografia IV.3, com explicação na respectiva legenda), posicionando a fonte magmática à noroeste do setor sul do Cráton do São Francisco.

Feições semelhantes às apresentadas na fotografia IV.3 foram verificadas ainda no contato entre os diques dos pontos ESM6 e 404 e suas encaixantes, do mesmo modo que em diques de Salvador e Ilhéus - BA (Correa Gomes et al., 1988).

Ainda que menos expressivamente, são verificados diques porfíricos dentre a maioria dos E4 não porfíricos, com fenocristais de plagioclásio de até 15 cm na maior dimensão (fotografia IV.4). Estes fenocristais normalmente se concentram nas porções centrais dos diques e seus eixos maiores alinham-se na mesma direção desses corpos, também sugerindo fluxo magmático horizontal. Durante a intrusão, o fluxo magmático que os arrasta é mais intenso nestas porções mais aquecidas, ao contrário das bordas mais frias, onde o magma se solidifica mais rapidamente (Platten & Watterson, 1987).

A inexistência de zonas de fraqueza pré-existentes com direções N50-60W na época da colocação desses diques parece apoiar a proposição feita por Motoki & Vargas (1990, 1994). Esses autores afirmam que, em condições de crosta superior de comportamento rúptil, a própria pressão do magma pode criar uma fratura perpendicular ao eixo principal σ_3 do esforço, onde o mesmo intrude, preenchendo-a. Esta proposição questiona a idéia tradicional (Almeida, 1986, entre outros) de que magmas de diques se posicionam basicamente em zonas de fraqueza pré-existentes. Aliás, a chegada do magma alimentador dos diques (p.e. pluma mantélica - que pode ser responsável pela geração do expressivo enxame E4) à base da litosfera faz com que ela sofra intumescimento e conseqüente fraturamento, o que já ajudaria na colocação do magma.

Fotografia IV.2: Blocos preservados do dique do ponto 249 (E4), próximo a Santo Antônio do Monte, o qual está compreendido entre as linhas contínuas. Sua direção é N50W e tem cerca de 25 metros de largura.

Fotografia IV.3: Contato, no plano do chão, entre um dique máfico e gnaiss encaixante do ponto 368 (E4), próximo à cidade de Passa Tempo. Em (1), o fluxo do magma máfico cria um “escalonamento” na encaixante, acompanhado por uma pequena incisão, destacada no detalhe ampliado. Em (2), o magma aproveita uma zona de fraqueza (foliação) da encaixante e penetra na mesma, deslocando parcialmente um fragmento para dentro do fluxo. Em (3), ocorre o mesmo que em (2), porém o fragmento é rompido e englobado pelo magma. O dique apresenta direção N60W e as injeções apontadas pelas setas menores registram que o fluxo derivou de NW para SE (seta maior). Estas feições permitem definir, portanto, fluxo horizontal do magma e posicionamento da fonte à noroeste do setor sul Cráton do São Francisco.

Fotografia IV.4: Porção central porfírica do dique do ponto ESM 5 (E4), ostentando fenocristais de plagioclásio com eixos maiores (de até 15 cm) orientados na mesma direção do dique, o que sugere fluxo magmático horizontal.

Outros afloramentos que privilegiam a observação e a coleta de amostras são aqueles em cortes de estrada. Durante a duplicação da Rodovia Fernão Dias (BR-381), novos cortes expuseram vários diques, conforme mostra a fotografia IV.5.

Fotografia IV.5: Dique pertencente ao conjunto dos diques E4, em corte da BR-381, com cerca de 60 metros de largura (ponto 351).

Os diques E4 cortam, além das litologias dos complexos Belo Horizonte, Campo Belo, Bonfim e do Supergrupo Rio das Velhas, aquelas correspondentes ao Supergrupo Minas, truncando suas foliações (fotografia IV.6).

Fotografia IV.5: Dique E4 do ponto 91 (parte de baixo da foto), cortando xistos da Formação Sabará - Supergrupo Minas (parte de cima da foto).

Como todos os demais enxames, os E4 não aparecem cortando litologias do Grupo Bambuí. A respeito da relação com diques de outros enxames, os E4 cruzam corpos mais antigos (E2 e E3) e são cortados por diques mais jovens.

A reativação das zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas como falhas rúpteis durante o evento tectonotermal Brasileiro ao final do Neoproterozóico, mencionada no item IV.3, seccionou os diques E4, a exemplo dos pontos 70 e CON20 (ver mapa anexo), onde os mesmos encontram-se ruptilmente deformados.

IV.5 – Enxame 5 (E5)

Outro enxame de diques paralelos entre si, porém com direções constantes N60-70E, cruza a porção sul do Cráton do São Francisco de modo quase perpendicular ao enxame E4. Além de cortar este último enxame, aparentemente também o faz com os enxames E3, E2 e E1. Alguns de seus corpos alcançam mais de 100 Km de extensão com largura média em torno de 30-40 metros.

Esses diques neoproterozóicos (E5) atravessam, à maneira dos E4, granitos, gnaisses e migmatitos dos complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, bem como litologias dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, truncando ou não suas foliações. É provável que, na sua colocação, teriam aproveitado as regiões de fraqueza de direções NE correspondentes às zonas de cisalhamento transcorrentes transamazônicas subordinadas que foram, em grande parte, reativadas no Brasileiro (ver itens IV.3 e IV.4).

Invariavelmente, os afloramentos visitados mostram diques bastante alterados, apenas apresentando blocos arredondados “in situ”. Isso impossibilitou a observação de eventuais feições que pudessem trazer informações a respeito do fluxo e posicionamento da fonte magmática. Silva et al. (1995) e Dussin (1994) mencionam direções NE para diques neoproterozóicos do Quadrilátero Ferrífero e Espinhaço Meridional, o que corrobora com as direções dos E5.

A rocha dos diques E5 é melanocrática, equigranular, variando seus exemplares entre termos afaníticos, nas porções marginais dos diques, e faneríticos de grão médio, nas porções centrais dos mesmos. A textura ígnea ofítica a intergranular encontra-se preservada.

Tipos porfíricos, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm na maior dimensão, podem ser verificados dentro do enxame E5, bem como diferenciados félsicos no interior de diques mais espessos, como os descritos em diques E4.

Feições geológicas pouco descritas na literatura aparecem dentro do setor sul do Cráton do São Francisco, com direções NE, as mesmas dos E5 (ver mapa anexo). Elas correspondem a fraturas verticais, preenchidas por material clástico, a saber: conglomerados, arenitos (com grãos de K-Feldspato euédricos preservados) e siltitos. Suas dimensões mostram larguras inferiores a 10m, porém prolongam-se por até 15Km de comprimento. São aqui denominadas de diques clásticos e sua gênese, apesar de não fazer parte dos objetivos deste trabalho, pode ter alguma relação com o evento extensivo gerador do enxame E5.

Diques clásticos semelhantes já haviam sido descritos em Dores do Campo, imediatamente a SE da área investigada, nas imediações da cidade de São Tiago (Karfunkel & Noce, 1982).

IV.6 – Enxame 6 (E6)

Como os diques E1, dentro da área investigada esse grupo não chega a ser exatamente um “enxame”, pois está representado por dois pequenos diques, situados nos pontos 256, próximo a Itapeçerica e 288, nas imediações de Pará de Minas. Eles têm direções aproximadas E-W, largura média de 5-10 metros e cortam rochas granito-gnáissicas do Complexo Campo Belo. Apresentam uma rocha de granulação muito fina a vítrea, e coloração quase negra, macroscopicamente semelhante a um basalto.

CAPÍTULO V - PETROGRAFIA

Com o apoio de obras como Deer et al. (1981), os estudos petrográficos delineados a seguir, os quais envolveram determinações de granulação, textura e mineralogia dos diques, auxiliaram na diferenciação dos conjuntos de diques, apesar das inúmeras semelhanças entre eles. Tais semelhanças já se evidenciam pelo fato da maioria mostrar plagioclásio e augita como minerais principais, além de texturas ígneas parecidas.

A apresentação fotomicrográfica que acompanha as descrições das seções delgadas mostra o material das mesmas tanto sob nicóis cruzados quanto em luz natural plano-polarizada (nicóis paralelos), sendo que todas as fotomicrografias mostram ampliações de 25 vezes (exceto a foto V.6, com detalhe de uma granada), de modo a facilitar comparações de granulação e textura entre os diques dos diferentes enxames.

O enxame E4 foi subdividido em dois grupos (E4A e E4B) e o E3 em três grupos (E3A, E3B e E3C) devido a algumas diferenças texturais e/ou mineralógicas internas.

V.1 - Enxame 1 (E1)

Os E1 estão representados por dois diques que afloram exclusivamente no extremo sul da área, nas proximidades de Lavras, onde corpos similares - os básicos noríticos de Pineise, 1997 - foram ricamente estudados. Pineise (op. cit.) descreveu que os diques básicos noríticos consistem em rochas de granulação média constituídas basicamente de plagioclásio, augita, ortopiroxênio, minerais opacos e raras biotitas e olivinas, com texturas ígneas que variam de cumuláticas a intergranulares e subofíticas. Nas rochas de textura cumulática, o plagioclásio ocorre como fase "intercumulus", enquanto olivina, orto e clinopiroxênios ocorrem como fase "cumulus".

No dique dos pontos 323 e 331 a textura predominante é a granular hipidiomórfica e a granulação 1,0-2,5 mm. Os piroxênios originais estão completamente pseudomorfizados por massas de tremolita-actinolita. Os plagioclásios são ainda percebidos através de restos de suas maclas polissintéticas em meio a processos de saussuritização (fotomicrografia V.1).

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.1: Piroxênios pseudomorfisados por grãos de tremolitas-actinolitas e plagioclásios saussuritizados com restos de maclas polissintéticas em dique E1 (amostra 331).

O dique do qual as amostras 314 e 316 foram coletadas corresponde a um prosseguimento evolutivo dos E1 (ver capítulos IV, VI e VII) e seu material, de granulação 0,5-1,5 mm, ostenta textura ígnea intergranular (fotomicrografia V.2).

PLAGIOCLÁSIOS

Representando cerca de 30 a 50% do total da rocha, os plagioclásios ocorrem na forma de ripas euédricas a subédricas e prismas alongados. Geralmente, os plagioclásios encontram-se maclados polissinteticamente e a aplicação do método Michel-Levy proporcionou conteúdos correspondentes aos termos da labradorita. Manchas de saussuritização e argilização são assinaladas em alguns cristais.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V. 2: Textura ígnea intergranular, com cristais de piroxênio mostrando contatos retos a irregulares entre si e com os plagioclásios. Amostra 314 (E1).

PIROXÊNIOS

Os piroxênios ocupam cerca de 40% do volume total da rocha. São representados predominantemente por augitas incolores a verde-claro, que aparecem em grãos eudrais, subedrais e anedrais, e subordinadamente por ortopiroxênios (bronzita). Em geral, encontram-se em prismas isolados, às vezes geminados.

Juntamente com os plagioclásios, os piroxênios representam a mineralogia principal.

OLIVINA

Raramente aparecem olivinas nesse dique mais evoluído (menos de 1 %). Apresentam-se anedrais com pequenas fraturas alteradas, sem pleocroísmo, sendo de cristalização pré ou contemporânea aos plagioclásios e piroxênios.

MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos estão representados por magnetitas e ilmenitas, as quais no conjunto não passam de 3% do volume da rocha.

APATITA

Também acessória (menos de 1% da rocha), a apatita mostra-se acicular ou prismática.

Assinalam-se ainda sericita, calcita e epidoto em substituição ao plagioclásio, como também clorita e discreta horblenda na alteração do piroxênio. Raros intercrescimentos micrográficos de composição quartzo/K-feldspática são também notados.

V.2 - Enxame 2 (E2)

São rochas de granulação fina a média (0,3-2,0 mm) que apresentam textura ígnea do tipo intergranular e/ou subofítica. A mineralogia principal é composta por plagioclásios e augitas. Subordinadamente, e fechando a seqüência de cristalização, aparecem minerais opacos, quartzo e apatita. Rara olivina, evidenciando elevadas temperaturas do *liquidus*, também aparece, porém de cristalização precoce. Os minerais secundários são anfibólio, clorita, sericita e epidoto (fotomicrografias V.3 e V.4).

PLAGIOCLÁSIOS

Geralmente na forma de ripas tabulares, os plagioclásios se intercrecem em direções variadas e mostram contêudos An aos termos da andesina/labradorita. Representam cerca de 40% do volume total, porém apresentam-se bastante saussuritizados e/ou argilizados.

PIROXÊNIOS

Os piroxênios ocupam 30-40% do volume total e são representados por augitas. Ela apresenta-se rósea pálida em prismas subedrais a anedrais.

MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos ocorrem como cristais xenomórficos de ilmeno-magnetitas, podendo chegar a 5-10% do volume da rocha. Sulfetos são raros.

OLIVINA

Olivinas apresentam-se anedrais com contornos arredondados. Seus cristais mostram-se fraturados e nessas fraturas aparecem cloritas como produto de alteração. Raras, representam 1% do volume da rocha (fotomicrografia V.4).

QUARTZO

O quartzo ocupa até 5% do volume da rocha e ocorre esparsa na forma de pequenos cristais anédricos.

APATITA

Ocorre como mineral acessório, na forma de cristais aciculares ou prismáticos. Em geral não ultrapassa 1% do volume da rocha.

ANFIBÓLIO

Substituindo marginalmente os piroxênios, aparecem uralitas esverdeadas. Chegam a 10% do volume da rocha.

CLORITA, SERICITA e EPIDOTO

Os minerais primários mostram discreta saussuritização, a partir da qual surgiram cloritas, sericitas e epidotos. As cloritas ostentam pleocroísmo em tons esverdeados e são produto de alteração hidrotermal das olivinas e piroxênios ou aparecem em amígdalas milimétricas. Sericita

e pistacita aparecem a partir da alteração dos plagioclásios. As sericitas ocorrem como agregados de finos cristais de cores variadas em luz polarizada e as pistacitas aparecem na forma de pequenos cristais isolados com pleocroísmo amarelo esverdeado. Em termos gerais, a saussurita constitui cerca de 5% do volume da rocha.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.3: Aspecto geral dos E2, onde notam-se plagioclásios e piroxênios interrescidos, gerando uma textura intergranular/subofítica. Anfibólios margeiam os piroxênios, como produto de alteração dos mesmos. Amostra 220 (E2).

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.4: Cristais de augitas com fraturas ostentando cloritas, em meio a plagioclásios saussuritizados e minerais opacos. Amostra 438 (E2).

V.3 - Enxame 3 (E3)

A maioria desses diques foi sujeita, após sua colocação, a processos deformacionais que os metamorfsaram em graus diferenciados (ver capítulo IV). Os diques que se preservaram dessa deformação (E3A) mostram texturas ígneas subofíticas a intergranulares. Quando deformados incipientemente, a textura que aparece nos diques (E3B) é a blasto-subofítica ou blasto-intergranular, onde, na rocha, ainda encontram-se minerais primários reliquiares. Já os diques altamente deformados (E3C), que são os mais abundantes dentre os E3, ostentam texturas metamórficas do tipo granoblástica, no centro dos corpos, a nematoblástica, na margem dos mesmos.

Ao final da descrição dos três subtipos petrográficos do enxame E3, todos de granulação do tipo fina a média (0,5-3,0 mm), estará apresentada a evolução da sua deformação em termos texturais e mineralógicos, nas fotomicrografias V.5 e V.6.

V.3.1 - Diques não-metamorfisados (E3A)

São caracterizados pela textura intergranular e pela textura subofítica. Em geral, os contatos entre cristais são retos, às vezes reentrantes ou irregulares. Praticamente preservados da deformação, os únicos sinais da mesma são o encurvamento de algumas ripas de plagioclásio e ondulações nas suas maclas polissintéticas. A mineralogia primária é constituída de plagioclásio e augita, com raro ortopiroxênio e, finalizando a seqüência de cristalização, aparece ilmenita e, de modo subordinado, apatita e biotita. Minerais de alteração também são comuns.

PLAGIOCLÁSIOS

Os plagioclásios representam cerca de 40-50% do volume da rocha e ocorrem na forma de ripas euédricas a subédricas e prismas alongados. A aplicação do método Michel-Levy em cristais maclados proporcionou conteúdos correspondentes predominantemente aos termos da labradorita. Saussuritização e epidotização são fenômenos assinalados em alguns poucos cristais.

PIROXÊNIOS

Os piroxênios ocupam 35 a 45% do volume total da rocha. São representados predominantemente por augitas e hiperstênios. Geralmente, encontram-se em prismas individualizados, às vezes geminados. Os clinopiroxênios augíticos representam volumes da

ordem de 30% da rocha, e apresentam-se incolores a verde-claro em prismas subedrais a anedrais. Os hiperstênios constituem os ortopiroxênios, os quais se distribuem ocupando volumes na rocha da ordem de 10%. Caracterizam-se pelas cores rosadas a verde pálido e extinção reta.

MINERAIS OPACOS

Os minerais opacos ocorrem como cristais aciculares, esqueléticos e/ou xenomórficos de ilmenomagnetita, podendo chegar a 5% do volume da rocha.

BIOTITA

A biotita não ultrapassa 5% do volume da rocha e ocorre acessoriamente na forma de palhetas anédricas de coloração marrom avermelhada.

APATITA

Ocorre, também como mineral acessório, na forma de cristais aciculares ou prismáticos. Em geral não ultrapassa 1% do volume da rocha.

ANFIBÓLIO

Hornblendas, de cor verde, aparecem substituindo os piroxênios. Chegam a 5-10% do total.

CLORITA

Ocorre na forma de pequenas massas com cores de interferência anômalas (verde escuro e roxo) e pleocroísmo fraco em tons esverdeados. Normalmente são produto de alteração hidrotermal das augitas e biotitas. Chegam a representar 2% do volume total da rocha.

SERICITA

Aparece como produto de alteração dos plagioclásio na forma de um agregado de finos cristais de cores variadas em luz polarizada. Constituem até 5% do volume da rocha.

EPIDOTOS

Aparecem na forma de pequenos cristais isolados ou como agregados, ora com pleocroísmo amarelo esverdeado (epidoto pistacita) ora sem pleocroísmo (clinozoisita). Resultam de processos de saussuritização dos plagioclásios, estando associados às sericitas, albitas e ao carbonato. Constituem cerca de 5% do volume da rocha.

CARBONATO

Calcitas aparecem muito subordinadamente (menos de 1% do volume da rocha) no interior de cristais de plagioclásio e augita, substituindo-os. São identificadas pela sua cintilância característica em tons róseos, verdes e azuis.

Também neste grupo são verificados intercrescimentos micrográficos/granofíricos de composição quartzo/K-feldspática.

V.3.2 - Diques parcialmente metamorfisados (E3B)

Os diques E3 pouco deformados e que guardam traços ígneos mostram texturas que variam de blasto-subofítica a blasto-intergranular. A mineralogia essencial está representada por anfibólitos e plagioclásios. Subordinadamente assinalam-se minerais opacos, clinopiroxênios reliquiais, biotita, quartzo, titanita, apatita, epidoto, calcita e sericita.

ANFIBÓLIOS

Os anfibólitos ocupam cerca de 40% do volume total e são hornblendas. Ocorrem isolados ou agregados, exibindo formas subédricas a anédricas. São de coloração verde, com pleocroísmo variando de verde claro a castanho. Às vezes encontram-se subpoligonizados. São assinalados casos onde se observam relíquias de piroxênios augíticos nos núcleos dos anfibólitos, sugerindo uma origem para os anfibólitos a partir de transformações nos piroxênios.

PLAGIOCLÁSIOS

Os plagioclásios ocupam cerca de 30 a 40 % do volume da rocha e ocorrem em ripas subédricas, porém com sinais de poligonalização e formação de subgrãos. Suas composições encontram-se nos termos da andesina e subordinadamente labradorita. Algumas amostras apresentam ripas de plagioclásio parcialmente saussuritizadas e, às vezes, epidotizadas.

MINERAIS OPACOS

Ilmenomagnetitas representam o conjunto dos minerais opacos e distribuem-se entre 5 a 10% do volume da rocha. Em geral, apresentam-se em cristais subédricos a anédricos inclusos nas hornblendas.

QUARTZO

O quartzo ocupa até 5% do volume da rocha e ocorre na forma de pequenos cristais anédricos incluídos na hornblenda, bem como nos interstícios entre plagioclásio e hornblenda. O quartzo posicionado na hornblenda pode indicar excesso de sílica que não foi incorporado ao anfibólio.

BIOTITA e APATITA

A biotita (2 % do total) distribui-se em lamelas normalmente associadas às hornblendas, enquanto a apatita é mais rara e dispersa por toda a rocha.

EPIDOTO, CALCITA e SERICITA

Epidoto, calcita e sericita representam minerais cuja origem se relaciona à alteração das fases minerais principais, principalmente dos plagioclásios.

V.3.3 - Diques anfibolíticos (E3C)

Estes diques, que em afloramento exibem parte central maciça e bordas foliadas, mostram invariavelmente em lâmina delgada uma textura granoblástica em amostras do centro e nematoblástica em amostras da borda de praticamente todos os corpos. Em ambos os casos, conforme será visto adiante, além da recristalização evidente, a mineralogia ígnea original foi substituída pela metamórfica. Raros diques, originalmente porfíricos, mostram megacristais de plagioclásio com sinais de deformação.

PLAGIOCLÁSIO

Perfazendo cerca de 30-40% do volume da rocha, ocorre na forma de um aglomerado de cristais de andesina/labradorita poligonalizados, exibindo extinção ondulante e corrosão nas bordas, o que evidencia seu consumo em reações metamórficas. Em alguns cristais, as maclas polissintéticas aparecem deformadas e descontínuas. Em várias lâminas, os plagioclásios mostram-se algo sericitizados, epidotizados e, menos expressivamente, carbonatizados. Quando alterados intempericamente, transformam-se em minerais argilosos, vistos ao microscópio como uma massa escura.

ANFIBÓLIO

Ocorre em substituição aos piroxênios. São hornblendas que mostram-se, nas porções de borda dos diques, intensamente orientadas, o que não acontece nas amostras do centro dos diques. Os

cristais são em sua maioria hipidiomórficos e exibem um pleocroísmo em tons de verde e castanho. Em termos modais, estima-se corresponder entre 40-50% do volume da rocha. Raramente aparecem cristais fibrosos, provavelmente tremolita-actinolita, substituindo os piroxênios.

PIROXÊNIO

Augitas aparecem como cristais reliquiares xenomorfos, remanescentes da mineralogia original, às vezes geminados, ou em massas de pequenos cristais recristalizados (poligonalizados) na maior parte das lâminas. Invariavelmente, mostram-se quase completamente substituídos por hornblendas. Por isto, perfazem menos de 5% do volume da rocha nas lâminas contendo amostras da borda dos diques podendo, entretanto, chegar a 20% nas amostras da parte central dos mesmos, onde esta substituição é menos pronunciada.

GRANADA

Aparece, na maioria das vezes, na forma de coronas (fotomicrografia V.6), normalmente na interface entre cristais de plagioclásio e augita, parecendo resultar da reação entre estes dois minerais (as coronas são metamórficas, pois não ocorrem nos E3A, de textura ígnea). É facilmente identificada por sua isotropia sob nicóis cruzados, apesar de normalmente não representar mais de 2-3% do volume total da rocha. A interpretação da análise por microsonda eletrônica em granadas desses diques feitas durante o Mestrado do autor (Chaves, 1996), permitiu obter a fórmula cristaloquímica $(\text{Fe}_{2,00}; \text{Ca}_{0,63}; \text{Mg}_{0,27}; \text{Mn}_{0,10})\text{Al}_2(\text{Si}_{2,98}; \text{Al}_{0,02})\text{O}_{12}$, típica das almandinas.

Em resumo, o metamorfismo de caráter dinâmico, sofrido pelos E3C em condições de crosta já quase dúctil, foi o responsável pela recristalização generalizada da mineralogia original e pelo surgimento de reações metamórficas. Dentre estas reações, a mais expressiva é a da formação de hornblenda, com o auxílio de fluidos hidrotermais (H_2O), a partir da augita. Nesta reação, há o envolvimento do plagioclásio como reagente e granada almandina aparece como sub-produto. A ocorrência da granada na forma de coronas evidencia condições de alta pressão. Esta reação, abaixo escrita, caracteriza o fácies anfibolito alto (Winkler, 1976) e encontra-se presente na maior parte das lâminas investigadas:

Segundo Yardley (1989), “o desenvolvimento de texturas coroníticas implica transição direta de uma associação ígnea inalterada para uma associação típica de metamorfismo de alta temperatura, e usualmente alta pressão, sem um estágio interveniente de metamorfismo de grau mais baixo”. Esta afirmação parece refletir, de fato, o acontecido aos E3C.

MINERAIS OPACOS

Ocorrem como agregados de pequenos cristais hipidiomórficos ou esqueléticos de ilmenita, normalmente no interior de massas de hornblenda. Às vezes, é percebida a presença de leucoxênio (e raramente titanita) junto a estes opacos. Aparentemente, ela não é um mineral metamórfico e perfaz cerca de 5% do volume total da rocha.

BIOTITA e CLORITA

Biotitas primárias aparecem acessoriamente (menos de 3% do volume da rocha) com habitus tabular e cores de interferência típicas, em tons de vermelho e verde. Sagenitas, ou seja, agulhas de rutilo de exsolução no interior de algumas biotitas, podem ser verificadas em algumas amostras. Na maior parte das lâminas, porém, as biotitas encontram-se quase sempre substituídas por cloritas, estas últimas facilmente identificáveis por sua cor de interferência anômala, em tons roxo-esverdeados.

SERICITA

Aparece em substituição aos plagioclásios e a sua proporção, em termos do volume da rocha, varia de acordo com o estado de alteração de cada amostra. Em geral, não chega a representar mais de 5% do volume total. Mostra-se como uma massa de pequenos cristais fibrosos de elevada birrefringência no interior dos cristais alterados de plagioclásio.

EPIDOTOS

Aparecem também em substituição aos plagioclásios, na forma de pequenos agregados ou isoladamente, com seu pleocroísmo amarelo esverdeado a verde amarelado. É notada também a presença de clinozoisita, distinguida do epidoto por sua birrefringência mais baixa e ausência de pleocroísmo. Em geral, os epidotos e clinozoisitas chegam a constituir 5% do volume total da rocha.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.5: Evolução da deformação e conseqüente recrystalização dos E3, em termos texturais e mineralógicos. Na foto superior é mostrado um dique E3A, com textura ígnea subofítica preservada, onde predominam piroxênios e plagioclásios originais. Os únicos sinais de deformação são o encurvamento de algumas ripas de plagioclásio e ondulações nas suas maclas polissintéticas (amostra 330). Na foto intermediária, o dique E3B apresenta um princípio de recrystalização, com ligeira formação de sub-grãos de plagioclásio e aparecimento mais pronunciado das hornblendas (massa castanho-esverdeada sob nicóis paralelos). Porém, ainda são notados cristais reliquiais de piroxênio, a exemplo de um cristal maclado na porção inferior direita da foto. A textura resultante é a blasto-subofítica (amostra 307). Na foto inferior, onde nota-se a textura metamórfica granuloblástica, há o desaparecimento quase completo dos piroxênios, os quais acham-se substituídos por hornblendas, e os plagioclásios estão completamente recrystalizados na forma de sub-grãos. Lamelas de biotita podem ser vistas na foto com coloração vermelho-escuro (amostra 418, E3C).

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 100 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.6: Detalhe de uma corona de granada, isotrópica sob nicóis cruzados, envolvendo um cristal de piroxênio em alteração para hornblenda. Um mineral opaco, ilmenita, aparece do lado direito da foto (amostra 250, E3C).

CARBONATO

Em algumas lâminas é notada a presença de calcita, facilmente identificada pela sua cintilância em tons róseos, verdes e azuis, em luz polarizada. Ela aparece também como produto de substituição dos plagioclásios, principalmente quando estes são mais cálcicos. Usualmente não ultrapassa 1% do volume da rocha.

QUARTZO

Ocorre como mineral subordinado, correspondendo a cerca de 1-2% do volume da rocha. Como os opacos, aparece associado às hornblendas na maior parte das vezes.

ZIRCÃO

Aparece acessoriamente, representando menos de 0,5% do volume da rocha. Geralmente encontra-se metamórfico no interior dos cristais de hornblenda, com nítido halo pleocróico circundando-o. Nas bordas dos diques, onde o metamorfismo e deformação foram mais intensos, aparentemente encontram-se recrystalizados.

Dadas as semelhanças geoquímicas entre os E3A, E3B e E3C, mesmo tendo os últimos sido sujeitos a processos metamórficos, serão todos considerados como E3 no capítulo seguinte, que trata justamente da geoquímica.

V.4 - Enxame 4 (E4)

Em termos petrográficos, este enxame pode ser dividido em dois grupos de diques, aqui denominados E4A e E4B. Essa divisão se baseia no fato de que, apesar de serem geológica, mineralógica e texturalmente semelhantes, vão apresentar diferenças significativas nos conteúdos dos minerais acessórios apatita, ilmenita e titanita. Tais diferenças se refletirão no tratamento geoquímico dessas rochas no que se refere principalmente aos teores maiores de P, Ti, Nb, Zr e Y e menores em SiO₂ dos E4B (minoria) em relação aos E4A (grande maioria dos corpos E4).

Por serem os diques de granulação mais grossa (2,0-5,0 mm) dentre os grupos investigados, os E4 chegam a representar verdadeiros diabásios em amostras de mão. A textura ígnea encontra-se perfeitamente preservada, variando de ofítica a subofítica (fotomicrografias V.7 e V.8).

A mineralogia primária é constituída de augitas normalmente subédricas cercadas por ripas de plagioclásio de orientações variadas. Finalizando a sequência de cristalização, além de ilmenita, aparecem quartzo, titanita e apatita em caráter acessório. Biotita também ocorre subordinadamente como um mineral primário.

Processos de alteração como saussuritização e uralitização são identificados invariavelmente nas lâminas descritas. Tais processos parecem ter causa relacionada à fluidos hidrotermais residuais da cristalização magmática, cuja atividade evidencia-se pela presença de amígdalas milimétricas preenchidas principalmente por clorita e carbonato. Essas amígdalas podem estar apontando ainda a intrusão dos diques em níveis rasos da crosta.

V.4.1 - E4A

Diques faneríticos ou porfíricos aparecem entre os E4A e a mineralogia em ambos é sempre semelhante. A primária é constituída de augitas e plagioclásios de cristalização conjunta, porém tardia em relação à formação dos fenocristais de plagioclásio, quando o dique é porfírico. Alguns diques mostram diferenciados félsicos em seu interior.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.7: Aspecto geral da textura subofítica dos E4. Augitas com bordas uralitizadas e ripas de plagioclásio de direções variadas podem ser notadas na foto (amostra 384, E4A).

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.8: Detalhe de um cristal maclado de augita ao lado de outro do mesmo mineral, ambos rodeados por plagioclásios. Bordas uralitizadas também são aqui percebidas nas augitas (amostra 385, E4A).

PLAGIOCLÁSIOS

Os plagioclásios ocorrem geralmente na forma de ripas tabulares intercrescidas em direções variadas, porém intensamente saussuritizadas, ou seja, substituídas por albita, sericita, epidoto e carbonato. As maclas polissintéticas aparecem como “sombras” em meio à este processo de substituição, porém em lâminas com amostras menos alteradas foi possível definir os plagioclásios como pertencentes às séries andesina/labradorita. Caso a saussuritização não fosse tão pronunciada, os plagioclásios constituiriam cerca de 40-50% do volume total da rocha.

PIROXÊNIO

Ocorre como cristais hipidiomórficos, às vezes geminados, de clinopiroxênio augítico, perfazendo cerca de 30% do volume total da rocha. Alguns cristais encontram-se marginalmente substituídos por uralita e, menos expressivamente, por aglomerados de clorita.

MINERAIS OPACOS E TITANITA

Os minerais opacos ocorrem como cristais aciculares, esqueléticos e/ou xenomórficos de ilmenomagnetita, às vezes com titanitas associadas. Sulfetos também são encontrados nesses diques e, juntamente com a ilmenomagnetita, chegam a 5% do volume da rocha.

ANFIBÓLIO

Uralitas aparecem marginalmente substituindo os clinopiroxênios. Mostram um pleocroísmo em tons castanho-esverdeados e constituem menos de 5% do volume total da rocha.

BIOTITA

Aparece acessoriamente (menos de 3% do volume total da rocha), na maioria das lâminas investigadas, com pleocroísmo castanho avermelhado típico.

CLORITA

Ocorre na forma de pequenas massas com cores de interferência anômalas (verde escuro e roxo) e pleocroísmo fraco em tons esverdeados. Normalmente representa o produto de alteração hidrotermal das augitas e biotitas porém, às vezes, aparecem preenchendo pequenas amígdalas juntamente com quartzo e carbonato. As cloritas podem chegar a representar cerca de 10% do volume da rocha, mas normalmente não ultrapassam 5%.

SERICITA

Aparece como produto de alteração dos plagioclásio na forma de um agregado de finos cristais de cores variadas em luz polarizada. Em lâminas contendo fenocristais de plagioclásio, a maior parte deles acha-se sericitizada, dificilmente sendo possível identificar as suas maclas polissintéticas. Chegam a constituir até 5% do volume da rocha.

EPIDOTOS

Aparecem na forma de pequenos cristais isolados ou como agregados, ora com pleocroísmo amarelo esverdeado (epidoto pistacita) ora sem pleocroísmo (clinozoisita). Resultam de

processos de saussuritização dos plagioclásios, estando associados às sericitas, albitas e ao carbonato. Podem chegar a constituir cerca de 5-10% do volume da rocha dependendo do grau de alteração em que ela se encontra.

CARBONATO

Calcitas aparecem muito subordinadamente (menos de 1% do volume da rocha) no interior de cristais de plagioclásio e augita, substituindo-os. São identificadas pela sua cintilância característica em tons róseos, verdes e azuis.

QUARTZO

Ocorre como mineral acessório, correspondendo a cerca de 1-2% do volume da rocha. Às vezes, ocorre intercrescido com cristais de plagioclásio em aspecto vermicular, formando a chamada mirmequita.

APATITA

Ocorre, também como mineral acessório, na forma de cristais aciculares ou prismáticos que, em geral, não ultrapassam 2% do total da rocha. Quando exibem seções basais, aparecem como hexágonos “isotrópicos” sob nicóis cruzados.

V.4.2 - E4B

Inteiramente semelhantes aos E4A quanto à granulação, mineralogia e textura, este grupo se destaca apenas pelos mais elevados conteúdos em apatita, ilmenita e titanita e, obviamente, menores conteúdos de augita e plagioclásio em comparação aos mesmos. Em algumas amostras (e.g. CON5, CON17, 16, 34, 40, 54, 68, 123, 126), esses minerais, não tão acessórios quanto nos E4A, chegam a representar até 20% do volume da rocha se considerados em conjunto. Excetuando-se esse fato, a descrição dos E4B, portanto, é idêntica à dos E4A, com os mesmos minerais principais, acessórios e de alteração. Não há nefelina e olivina na moda, apesar desses minerais insaturados aparecerem na norma CIPW dos E4B (anexo 1) e as análises por microsonda eletrônica feitas para as amostras 34 e 54 no Mestrado do autor (Chaves, 1996) acusaram o mesmo tipo de clinopiroxênio (augita de tendência salítica) e plagioclásio (andesina) dos E4A.

Cabe destacar que várias das amostras dos diques E4B (CON5, CON17, 16, 34, 68 e 126) são oriundas de um único dique, de cerca de 100 Km de comprimento e de mesma direção dos demais E4A.

V.5 - Enxame 5 (E5)

Os diques E5 têm texturas ofítica a intergranular e granulação 1,0-2,0 mm. Tipos porfíricos não são muito frequentes, porém alguns mostram fenocristais de plagioclásio de até 5 cm. Os minerais primários e mais abundantes são o plagioclásio, augita e opacos. Aparecem ainda apatita e quartzo acessórios, bem como minerais resultantes de alterações dos primários (fotomicrografia V.9). Como nos E4, em alguns corpos E5 são notadas amígdalas preenchidas principalmente por cloritas, o que pode estar evidenciando a colocação dos mesmos em níveis rasos da crosta, e em outros há diferenciados félsicos em seu interior.

PLAGIOCLÁSIOS

Quando inalterados, os plagioclásios ocorrem na forma de cristais tabulares aleatoriamente orientados. Sua composição varia de andesina a labradorita e chegam a constituir 40 a 50% do total. São contemporâneos aos clinopiroxênios com respeito à cristalização e tardios em relação aos fenocristais de plagioclásio quando o dique é porfírico. Em diferenciados félsicos do interior de alguns diques E5, o plagioclásio é ainda mais abundante (fotomicrogr. V.10), conferindo um material quase anortosítico.

PIROXÊNIOS

Clinopiroxênios de composição augítica aparecem cercando as ripas de plagioclásio e representam cerca de 30% do total da rocha.

MINERAIS OPACOS

Grãos subédricos a esqueléticos de ilmenitas e algum sulfeto representam cerca de 10-15% do total da rocha. São de cristalização contemporânea à dos plagioclásios e augitas.

ANFIBÓLIOS, CLORITAS e BIOTITAS

Hornblendas e cloritas aparecem secundariamente em substituição às augitas, normalmente nas bordas dessas últimas. Juntas, perfazem cerca de 10% do total da rocha. Quando amigdalóides,

as cloritas preenchem essas pequenas cavidades (2-3mm) dos diques. Já as biotitas são raras e parecem resultar da alteração das hornblendas.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.9: Cristais de augita, plagioclásios saussuritizados, opacos e agulhas de apatita são alguns dos minerais que compõem os E5, os quais ostentam texturas ofíticas a intergranulares (amostra 348).

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.10: Feição de um diferenciado félsico, rico em plagioclásios tabulares, do interior de um dique E5 (amostra 306).

SERICITA, CARBONATO e ALBITA

Processos de saussuritização dos plagioclásios acarretaram no surgimento de minerais como sericita, carbonato e albita. Quando os plagioclásios encontram-se muito alterados, a saussurita chega a 20% do volume da rocha.

APATITA E QUARTZO

Apatitas aparecem como mineral acessório, na forma de cristais aciculares ou prismáticos, bem como o quartzo, ambos perfazendo cerca de 1-2% do volume da rocha. Às vezes, quartzo ocorre intercrescido com plagioclásio, formando a mirmequita.

V.6 - Enxame 6 (E6)

De coloração quase negra em amostra de mão, dois diques (pontos 256 e 288) mostraram-se diferentes dos demais grupos. Apresentam-se afaníticos, semelhantes a basaltos, com microfenocristais ($< 1\text{mm}$) de titanaugita e plagioclásio (An_{55}), geralmente tabulares, em meio a uma matriz melanocrática muito fina ($< 0,1\text{mm}$), quase vítrea, conforme mostra a fotografia V.11. Esse fato indica uma rápida cristalização dos minerais constituintes, na medida em que o magma gerador do dique deve ter se resfriado imediatamente no momento da colocação. Além dos clinopiroxênios e plagioclásios, os outros minerais da matriz incluem magnetita, clorita, anfibólio e quartzo.

NICÓIS CRUZADOS

AUMENTO 25 X

NICÓIS PARALELOS

Fotomicrografia V.11: Aparência de um dique E6 (amostra 256).

CAPÍTULO VI - LITOGEOQUÍMICA

A seguir são discutidos aspectos do comportamento geoquímico dos diferentes enxames de diques máficos assinalados na região investigada, a partir do tratamento dos resultados das análises químicas de elementos maiores, traços e terras raras, em rocha total, encontradas no anexo 1. Esse tratamento contou com o apoio do software MINPET - Mineralogical and Petrological Data Processing System - versão 2.02, de Richard, L.R (1996).

VI.1 - Considerações a respeito da mobilidade de elementos químicos em processos metamórfico-hidrotermais

Ainda que ortoderivados todos os enxames de diques investigados na área, os diques E3B (diques parcialmente metamorfisados) e E3C (diques anfibolíticos) mostram feições de deformação com recristalização associada, conforme apontaram os estudos petrográficos. Isto requer investigação sobre a possibilidade de mobilização de certos elementos químicos como fruto da atuação de processos metamórfico-hidrotermais sin- ou pós-magmáticos.

O comportamento dos elementos químicos em processos que incluem uma fase fluida depende das suas propriedades químicas, em particular, dos potenciais iônicos dos elementos (potencial iônico = carga/raio), os quais acabam por controlar suas mobilidades em fluidos (Juliani & McReath, 1992). Quanto ao potencial iônico, os elementos podem ser divididos em: a) elementos de baixo potencial (< 3); b) elementos de potencial intermediário (3 a 10) e c) elementos de alto potencial (> 10).

De acordo com esse critério, podem ser considerados como relativamente imóveis, ou seja, capazes de manter registradas as características dos magmas originais, o Ti, Zr, Nb, Ta, Y, Cr, Th, elementos terras-raras (exceto o La) e, possivelmente o P. Alguns autores afirmam que, sob condições metamórficas pertencentes ao fácies anfibolito a xisto verde, os elementos de baixo (e.g. Na, Mg, K, Ca, Ni, Rb, Sr, Ba e La) e de alto potencial (e.g. Si) podem ser mobilizados por meio de soluções aquecidas, em particular nas zonas de cisalhamentos (Winchester, 1984; Gelinas et al, 1982). Para os elementos de potencial iônico intermediário sob condições metamórficas rigorosas, alguns deles

(e.g. Zr, Nb, Ti, Y) são considerados como relativamente imóveis (Cann, 1970; Field & Elliot, 1974; Winchester & Floyd, 1976).

Dentre os métodos que tem sido propostos para investigar a mobilidade de elementos químicos, o mais difundido e originalmente desenvolvido por Pearce (1968) para interpretar tendências de fracionamento em suites ígneas inalteradas, foi posteriormente adaptado (Beswick, 1982) para avaliar os efeitos de alteração ou metamorfismo em amostras de komatiitos e basaltos. Ele consiste em verificar se um determinado elemento segue os "trends" de processos magmáticos, em caso positivo é dito imóvel, caso contrário trata-se de um mobilizado. No caso de se investigar elementos maiores um método que pode fornecer resultados satisfatórios é aquele que se utiliza das razões de proporções moleculares ou MPR (Molecular Proportion Ratios).

O método propõe a avaliação dos elementos maiores através da correlação entre razões do tipo A/N (x) e B/N (y), onde as proporções moleculares dos óxidos A e B (normalizados) participam das fases fracionadas, enquanto o elemento N (normalizador) seria constante do decurso do fracionamento, comportando-se como incompatível. Se não ocorrer tendência de correlação linear, mas sim um espalhamento dos pontos segundo um arranjo em leque a partir da origem dos eixos x e y, pode-se considerar a mobilidade do elemento normalizador, pressupondo-se como relativamente imóveis os dois óxidos normalizados.

Assim, na tentativa de investigar até que ponto os E3B e E3C tiveram suas composições obliteradas, foram construídos os diagramas MPR da figura VI.1. O elemento normalizador escolhido foi o Zr, sabidamente incompatível, enquanto que os óxidos selecionados, cujos elementos participam das fases fracionadas, foram SiO_2 (parâmetro), Al_2O_3 , FeO_T , MgO , CaO e Na_2O . O óxido K_2O , menos expressivo em termos do fracionamento, também foi usado no sentido do K ser investigado na transformação dos piroxênios em anfibólios durante o metamorfismo. Os óxidos TiO_2 e P_2O_5 não foram lançados pois Ti e P normalmente são imóveis no metamorfismo.

Na apuração das informações fornecidas por esses diagramas, inicialmente pode ser confirmada a imobilidade do elemento normalizador Zr, dada a tendência de correlação linear na maior parte dos diagramas MPR. Esses alinhamentos nos diagramas SiO_2/Zr versus $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Zr}$, FeO_T/Zr , MgO/Zr e

CaO/Zr mostram que os elementos Si, Al, Fe, Mg e Ca, os mais importantes no processo de fracionamento, praticamente não foram mobilizados no metamorfismo sofrido pelos diques E3B e E3C.

Já os padrões em leque percebidos nos diagramas SiO_2/Zr versus $\text{Na}_2\text{O}/\text{Zr}$ e $\text{K}_2\text{O}/\text{Zr}$ apontam para a mobilização de Na e K, principalmente deste último, no metamorfismo.

Figura VI.1: Diagramas de razões de proporções moleculares (MPR) para os diques metamorfisados E3B e E3C.

Em termos práticos, a seguir, os E3 terão seu tratamento geoquímico realizado da mesma maneira que os demais grupos de diques da área investigada.

VI.2 - Classificação Geoquímica

Serão apresentadas a seguir três classificações geoquímicas para os diferentes enxames de diques máficos da região estudada, além do diagrama ternário AFM (Irvine & Baragar, 1971).

VI.2.1 - Classificação baseada nos conteúdos de sílica e álcalis

Le Bas et al. (1986) propuseram uma classificação petrográfica com base em geoquímica, mais precisamente nos conteúdos em sílica (SiO_2) e álcalis ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). Sem possuir conotação genética, essa classificação, denominada Total-Álcalis-Sílica (TAS), é sugerida pela subcomissão de sistemática de rochas ígneas da IUGS.

A partir da figura VI.2, na qual está representado o diagrama TAS, nota-se que os diques do enxame E1 e a maioria dos diques E4A variam de andesitos basálticos a basaltos subalcalinos. Já os E4B, que parecem ter evoluído a partir da mesma fonte dos E4A, porém com significativa dessilicatação (ver colocações feitas mais adiante neste capítulo), posicionam-se no campo dos basanitos/tefritos. Os diques do enxame E2 praticamente correspondem a basaltos subalcalinos, o mesmo acontecendo com os diques E3 e E5. Os diques E6 classificam-se como andesitos basálticos. As amostras que caem no campo dos traqui-andesitos correspondem à diferenciados félsicos de porções centrais dos diques dos pontos 274 (E4), 305 e 306 (E5).

VI.2.2 - Classificação baseada no Diagrama R1 x R2

Essa classificação, proposta por De La Roche et al. (1980) e modificada por Bellieni et al. (1981) no que se refere aos campos dos basaltos subalcalinos, transicionais e alcalinos, é a que considera o maior número de elementos químicos na discriminação dos tipos envolvidos. Ela se utiliza dos

valores de $R1=[4Si-11(Na+K)-2(Fe^{+2}+Fe^{+3}+Ti)]$ e $R2=(6Ca+2Mg+Al)$, obtidos através das proporções milicatônicas dos elementos maiores de cada amostra utilizada.

Figura VI.2: Diagrama Total-Álcalis-Silica (TAS) de Le Bas et al. (1986) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Em (A) encontram-se os enxames E1, E2, E5 e E6 e em (B) os enxames E3 e E4 (E4A e E4B). A linha tracejada do diagrama separa os basaltos subalcalinos ou toleíticos (abaixo) dos alcalinos (acima).

O exame da figura VI.3 (R1 x R2) mostra que os E1 variam de basaltos toleíticos a andesitos basálticos, como também os E2 e os E5. Suas classificações aqui são as mesmas daquelas do diagrama TAS. As amostras mais evoluídas dos E2 e E5 pendem para os campos dos latitos. A maior parte dos E4A caem no campo dos andesitos basálticos, evoluindo para lati-basaltos. O outro grupo dos E4, os E4B, chegam a traqui-basaltos. Já os E3 variam de basaltos toleíticos a basaltos transicionais, da mesma maneira que no diagrama TAS. Os E6 correspondem a lati-andesitos.

VI.2.3 - Classificação baseada na norma CIPW

Thompson (1984) elaborou uma classificação que utiliza os minerais normativos CIPW nefelina, olivina, diopsídio, hiperstênio e quartzo, dispostos em três diagramas ternários (Ne-Ol-Di, Ol-Di-Hy e Di-Hy-Q), nos quais são recalculados para 100%. Nesse diagrama, ele discrimina 6 composições normativas, a saber: nefelinitos e similares, alcali-olivina basaltos, picritos, olivina-toleitos, quartzo-toleitos e boninitos.

Os dados da norma CIPW (anexo 1), foram lançados no diagrama da figura VI.4, depois de devidamente recalculados. De acordo com esse diagrama, basicamente todos os enxames de diques são quartzo-toleitos normativos, sendo que algumas amostras dos E2, E3 e E4A derivam para o campo dos olivina-toleitos. Já os E4B chegam a representar álcali-olivina basaltos normativos, apesar de não apresentarem nefelina e olivina modais.

Quanto ao posicionamento dos diferentes enxames no diagrama ternário AFM (Irvine & Baragar, 1971), onde $A = Na_2O + K_2O$ (Álcalis), $F = FeOT$ e $M = MgO$ e que separa as séries toleítica e cálcio-alcalina, todos os enxames mostram *trends* de diferenciação no campo dos toleitos (figura VI.5). Nesse diagrama, os E1 e parte dos E2 e dos E3 são os mais enriquecidos em MgO , ou seja, correspondem aos tipos menos evoluídos.

Cabe ressaltar, em primeiro lugar, que as amostras 274 (E4A), 305 e 306 (E5), que fogem dos *trends* de diferenciação, representam diferenciados félsicos das porções centrais de seus diques, com maiores conteúdos em álcalis que os demais. Em segundo lugar, destaca-se que os diques E4B encontram-se no *trend* dos demais diques E4A, o que sugere sua cogeneticidade.

Figura VI.3: Diagrama R1 x R2 de De La Roche et al. (1980), modificado por Bellieni et al. (1981) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.

Figura VI.4: Diagrama normativo CIPW (Thompson, 1984) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.

Figura VI.5: Diagrama AFM (A=Na₂O+K₂O, F=FeO_T e M=MgO, Irvine & Baragar, 1971) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco, no qual a linha faz a separação das séries toleítica e cálcio-alkalina.

VI.3 - Caracterização Geoquímica

A seguir serão feitas algumas discussões sobre os resultados das análises químicas do anexo 1, apoiadas, sempre que necessário, em diagramas de variação, como os Harker e similares, que muito auxiliam na compreensão da natureza de processos petrogenéticos e da própria composição magmática.

VI.3.1 - Elementos maiores e traços

O número de magnésio [$Mg\# = (Mg^{+2} / (Mg^{+2} + Fe^{+2})) \times 100$, razão molar com $Fe_2O_3/FeO = 0,15$] vem sendo usado amplamente na literatura como índice evolutivo. Seus valores ajudam na distinção de magmas posicionados na crosta em momentos diferentes do tempo geológico e provenientes de fontes próprias.

Os diques do enxame mais antigo, E1, mostram valores de $Mg\#$ entre 55 e 75 aproximadamente, sendo os menos evoluídos dentre os estudados. Os E2 possuem valores entre 40 e 60 e os E3, algo entre 35 e 55. Os E4 apresentam uma grande variação nos valores de $Mg\#$, próximo a 25 para os mais e 55 para os menos evoluídos desse enxame. Os valores dos E5 giram basicamente em torno de 35 a 45, enquanto que para os E6, os mais evoluídos, eles se situam entre 20 e 30. Fica clara, portanto, a constante diminuição nos valores de $Mg\#$ desde o enxame E1 até o E6.

De modo a se verificar a evolução dentro de cada enxame, foram construídos os diagramas de variação de $Mg\#$ versus óxidos de elementos maiores, como também de $Mg\#$ versus elementos traços e alguns terras-raras, conforme mostra a figura VI.6. As escalas dos eixos x e y desses diagramas foram mantidas imutáveis para o $Mg\#$ e para cada óxido ou elemento de modo a facilitar a distinção entre os enxames.

Figura VI.6: Diagramas de variação de número de magnésio (Mg#) versus SiO₂, Al₂O₃ e TiO₂ (%) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame 3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Figura VI.6 (continuação): Diagramas de variação de número de magnésio ($Mg\#$) versus FeO_T , CaO e Na_2O (%) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame E3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Figura VI.6 (continuação): Diagramas de variação de número de magnésio ($Mg\#$) versus K_2O , P_2O_5 (%) e Cr (ppm) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame E3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Figura VI.6 (continuação): Diagramas de variação de número de magnésio (Mg#) versus elementos traços Ni, Nb e Zr (ppm) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame E3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Figura VI.6 (continuação): Diagramas de variação de número de magnésio (Mg#) versus elementos traços Y, Rb e Sr (ppm) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame E3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Figura VI.6 (continuação): Diagramas de variação de número de magnésio (Mg#) versus elementos terras-raras La, Ce e Nd (ppm) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco. Legenda: Enxame E1 – triângulos preenchidos, Enxame E2 – quadrados vazios, Enxame 3 – círculos, Enxame E4 – triângulos vazios (E4A) e xis (E4B), Enxame E5 – losangos, Enxame E6 – quadrados semi-preenchidos. DF – diferenciado félsico do interior do dique.

Uma primeira análise dos diagramas aponta para algumas diferenças no comportamento das concentrações de Al_2O_3 , CaO e FeO_T nos E1 em relação aos demais enxames. Ao diminuir o $\text{Mg\#}$, os E1 evoluem aumentando suas concentrações em Al_2O_3 e levemente em CaO e diminuindo suas concentrações em FeO_T , enquanto que os demais enxames evoluem, de um modo geral, diminuindo suas concentrações em Al_2O_3 (exceto E5) e CaO e aumentando suas concentrações em FeO_T (exceto E5, onde óxidos e sulfetos de Fe são abundantes e de cristalização precoce). O aumento das concentrações de Al_2O_3 (e CaO ?) nos E1 pode ser explicado pelo fracionamento de ortopiroxênios e olivinas, enquanto que a diminuição dos conteúdos de Al_2O_3 e CaO nos demais enxames reflete a importância do plagioclásio e clinopiroxênio no processo evolutivo. Os E1 destacam-se ainda pelas mais elevadas concentrações em Cr (200 a 1700 ppm) e Ni (100 e 400 ppm) e pelos mais baixos conteúdos em elementos de alta densidade de carga (*HFSE*), como Ti (TiO_2 entre 0,5-1,0%), P (P_2O_5 máx. 0,2%), Nb (0-7 ppm), Zr (0-140 ppm) e Y (10-20 ppm), dados semelhantes aos observados por Condie (1985) para toleitos arqueanos do globo.

Numa segunda análise, para os demais elementos é notado que, na evolução de praticamente todos os enxames, a diminuição do $\text{Mg\#}$ é acompanhada pela diminuição de Cr e Ni e pelo aumento nos litófilos SiO_2 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Nb, Zr, Y, Rb, Sr, La, Ce e Nd. Essas constatações são representativas da evolução de magmas toleíticos (por haver apenas 2 análises para os E6, essa interpretação fica limitada para os mesmos).

Com relação especificamente à evolução dos diques E4, é percebido que, nos diagramas de $\text{Mg\#}$ versus SiO_2 , TiO_2 , FeO_T , P_2O_5 , Nb, Y, La, Ce e Nd, um grupo de amostras dos E4A se projeta em direção aos E4B. Relembrando o item V.4, os E4B são, em relação aos E4A, mais ricos em ilmenita, titanita e apatita, que concentram o Ti, P, Nb, Y, terras-raras e algum Fe. O comportamento desse grupo de amostras pode estar refletindo uma diminuição localizada no grau de fusão do magma alimentador dos diques, o que explicaria o aumento dos elementos incompatíveis Ti, P, Nb, Y (Pearce & Norry, 1979) e terras-raras e diminuição de SiO_2 dos E4B em relação aos E4A. Isto não impede que os diques E4A e E4B tenham derivado de uma mesma fonte. Destaca-se que as amostras E4B são oriundas praticamente de um só dique com a mesmas dimensões e direção dos E4A (N60W).

Razões entre elementos traços incompatíveis têm sido muito utilizadas na distinção de fontes magmáticas, em especial aquelas entre Zr e outros elementos (Rollinson, 1993). Desse modo, foram construídos diagramas de Zr versus Nb, Y e Sr (fig. VI.7), nos quais os diferentes enxames da área estudada encontram-se caracterizados com base nessas razões.

Figura VI.7: Diagramas Zr (ppm) versus Nb, Y e Sr (ppm) dos enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.

Um resumo das informações obtidas a partir da figura VI.7 aparece na tabela VI.1 abaixo, que traz os intervalos das razões Zr/Nb, Zr/Y e Zr/Sr para cada um dos enxames. A razão Zr/Nb, por exemplo, distingue entre os E5, os E3 e os E1, separando ainda, de certa forma, os E2 dos E4. Já a razão Zr/Y distingue bem entre os enxames E1, E5 e E6, apesar de não ser útil para distinguir os E2 dos E4, o que pode ser feito, em parte, pela razão Zr/Sr. Esta última razão serve também para separar entre a maior parte dos E5 (0,35-0,6) e os E3 (0,6-2,6). Assim, são evidentes as diferenças entre essas razões para os seis enxames, o que sugere que derivaram cada um de uma fonte própria. As razões Zr/Y e Zr/Sr dos E4A e E4B são próximas, sugerindo cogeneticidade entre eles.

Tabela VI.1: Razões Zr/Nb, Zr/Y e Zr/Sr para os diferentes enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.

Enxame	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Zr/Nb	~ 24,0	8,2-15,7	12,0-24,0	10,0-31,0	6,4-12,0	~ 14,7
Zr/Y	1,3-8,3	4,0-10,0	1,3-5,3	4,0-10,0	10,0-18,2	8,3-10,0
Zr/Sr	0,12-0,6	0,36-0,83	0,6-2,6	0,36-2,5	0,35-2,6	0,6-1,1

A visualização das diferenças apontadas na figura VI.7 e tabela VI.1 se torna ainda mais clara quando as amostras dos diferentes enxames são lançados no diagrama razão-razão entre os elementos Zr, Nb e Y (figura VI.8), onde a razão Zr/Nb aparece no eixo x e a razão Zr/Y no eixo y.

Esse diagrama razão-razão permite minimizar os efeitos do fracionamento magmático e nele cada fonte apresenta uma linha de correlação própria (Rollinson, 1993).

Os resultados novamente mostram que os enxames derivam de fontes distintas, uma vez que cada um possui um valor particular da razão $[(Zr/Nb)/(Zr/Y)]$, a saber: E1 = 7,7, E2 = 1,7, E3 = 4,5, E4 = 2,6, E5 = 0,7 e E6 = 1,6, que correspondem a alinhamentos muito bem definidos. Os diques E1 mais evoluídos apresentaram uma razão próxima à dos E4. Os E4B não se distanciaram dos E4A, o que parece confirmar derivação de mesma fonte para ambos.

Figura VI.8 – Diagrama razão-razão (Zr/Nb) versus (Zr/Y) para os seis enxames de diques máficos da área investigada. Amostras de fontes diferentes caem em linhas de correlação distintas.

Investigações sobre a evolução geoquímica dos elementos maiores e traços ao longo de um mesmo dique são feitas a seguir para os enxames E4 e E5, cujos diques têm os maiores comprimentos. Elas se justificam pelo seu principal propósito, que é ajudar na localização das fontes de onde os mesmos partiram, porém devem ser vistas com ressalvas devido aos eventuais erros e/ou imprecisões decorrentes das análises pela técnica de fluorescência de raios-x (tabela VI.2).

As feições de fluxo magmático horizontal observadas no afloramento do ponto 368 (fotografia IV.3), que definem seu sentido como sendo de NW para SE e posicionam a fonte à noroeste da área investigada, são confirmadas pela evolução geoquímica ao longo de um dos diques E4. De NW para SE (ponto 437 a 349) é verificada a diminuição do Mg # (50,2 a 43,4), sendo ela acompanhada pelo aumento de SiO_2 , TiO_2 , FeO_T , Na_2O , P_2O_5 , Nb, Zr e Y (litófilos) e pela diminuição dos elementos compatíveis Al_2O_3 , MgO, CaO, Cr e Ni. Essas verificações estão de acordo com o comportamento evolutivo dos diques E4 apontado na figura VI.6.

Partindo do mesmo pressuposto dos E4, à medida que se caminha de NE para SW (ponto 388 a 343) num dos diques E5, há uma diminuição do Mg # (47,5 a 44,6) acompanhada pelo aumento de SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 , Zr e Y e pela diminuição de MgO, CaO, Cr e Ni. A diminuição de TiO_2 e FeO_T corrobora com a mesma feição evolutiva de ambos nos diques E5 na figura VI.6, que se explica pela

cristalização precoce de ilmenitas e sulfetos de Fe no magma desses diques. Assim, é sugestiva a idéia de que os E5 se posicionaram de NE para SW a partir de uma fonte magmática situada à NE da área estudada.

Tabela VI.2: Comportamento geoquímico dos elementos maiores e traços ao longo da extensão de um único dique de cada um dos enxames E4 e E5. As distâncias em Km entre os pontos também aparecem nessa tabela.

DIQUE	E 4		E 5	
PONTO	437	349	388	343
SENTIDO	NW	→ SE	NE	→ SW
DISTÂNCIA	← 70	→	← 50	→
	Km		Km	
Mg#	50,2	→ 43,4	47,5	→ 44,6
SiO ₂	50,67	→ 52,13	49,67	→ 50,74
TiO ₂	1,50	→ 1,98	3,22	→ 2,64
Al ₂ O ₃	15,87	→ 14,34	12,25	→ 13,77
FeOt	12,11	→ 13,28	14,93	→ 14,40
MgO	5,81	→ 4,86	6,44	→ 5,53
CaO	9,25	→ 8,44	8,93	→ 8,17
Na ₂ O	2,25	→ 2,85	2,56	→ 3,39
K ₂ O	2,14	→ 1,47	1,27	→ 0,56
P ₂ O ₅	0,23	→ 0,47	0,52	→ 0,61
Cr	206	→ 153	81	→ 69
Ni	98	→ 89	69	→ 67
Nb	9	→ 14	39	→ 39
Zr	150	→ 261	290	→ 330
Y	26	→ 36	22	→ 26

Estudos de anisotropia da susceptibilidade magnética (AMS) estão sendo desenvolvidos para os diques dos diferentes enxames no Laboratório de Anisotropias Magnéticas do IG-USP e os resultados preliminares, não publicados nessa Tese, parecem confirmar as proposições acima.

VI.3.2 - Elementos Terras-Raras

A utilização das análises de elementos terras-raras (ETR), constantes do anexo 1, permitiu a construção dos diagramas que apresentam os padrões de abundância desses elementos normalizados a condritos, sendo a normalização segundo valores de Boynton (1984). No anexo 1 também

aparecem as razões $(La/Yb)_N$, $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ e Eu/Eu^* , cujos intervalos, para cada um dos enxames investigados, encontram-se na tabela VI.3.

Nos diagramas da figura VI.9 estão apresentadas 2 amostras dos E1 (314, mais evoluída e 331, menos evoluída), 3 amostras dos E2 (301, 61 e 397), 33 amostras dos E3, muitas delas analisadas, mas com resultados não usados, durante o Mestrado do autor (Chaves, 1996), 36 amostras dos E4, enxame do qual foi analisado o maior número de amostras por ser o mais expressivo em termos de número e dimensões dos diques, 3 amostras dos E5 (306, 308 e 388) e 2 amostras dos E6 (256 e 288).

Todos os enxames mostram fracionamento dos ETR, uns mais, como por exemplo os E5, outros menos, como os E3. A comparação das razões $(La/Yb)_N$ permite uma boa distinção entre os enxames, principalmente os E3, com as menores razões (1,06-3,48), os E1 (3,55-6,61), os E6 (6,35-7,05) e os E5, este último com as maiores razões (9,93-15,59).

Os E1 e os E6 são os diques que mostram os maiores enriquecimentos de elementos terras-raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP) dentre os enxames investigados, dadas internamente as suas diferentes razões $(La/Sm)_N$ e $(Gd/Yb)_N$. Esses enriquecimentos são mais discretos nos E4 e mais ainda nos E3. Os E2 e os E5 apresentam-se enriquecidos tanto em ETRL quanto em ETRP.

É notável a coerência dos padrões de ETR das 36 amostras E4 entre si, sejam elas dos E4A (triângulos da fig. VI.9.C, menos enriquecidas em ETR) ou dos E4B (xis da fig. VI.9.C, mais enriquecidas em ETR), bem como das 33 amostras E3, sejam elas isentas de ou com metamorfismo.

Tabela VI.3: Intervalos das razões $(La/Yb)_N$, $(La/Sm)_N$, $(Gd/Yb)_N$ e Eu/Eu^* para os diferentes enxames de diques do setor sul do Cráton do São Francisco.

Enxame	E1	E2	E3	E4	E5	E6
$(La/Yb)_N$	3,55-6,61	4,17-8,69	1,06-3,48	2,58-7,23	9,93-15,59	6,35-7,05
$(La/Sm)_N$	2,58-2,78	1,72-2,41	1,06-2,26	1,61-3,13	1,85-3,70	2,71-2,75
$(Gd/Yb)_N$	1,29-1,75	1,51-2,52	1,11-1,59	1,37-2,33	2,47-3,09	1,67-1,80
Eu/Eu^*	0,82-0,87	0,91-0,95	0,73-0,99	0,64-0,85	1,03-1,06	0,68-0,82

Figura VI.9: Padrões de abundância de elementos terras-raras normalizados a condritos (normalização segundo Boynton, 1984). Em (A) aparecem padrões de diques E1 (triângulos cheios) e E2 (quadrados), em (B) estão os diques E3 (círculos), em (C) os diques E4A (triângulos) e E4B (xis) e em (D) os diques E5 (losangos) e E6 (quadrados semi-cheios).

Com exceção dos E5, com suas anomalias levemente positivas ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1,03-1,06$), similares aos diques neoproterozóicos do Espinhaço Meridional (Dussin, 1994; Silva et al., 1995), todos os demais enxames de diques mostram anomalias negativas de Eu. Os E2 possuem as anomalias negativas mais discretas, sendo as anomalias dos E1, E3, E4 e E6 facilmente reconhecidas nos diagramas da figura VI.9. As anomalias de Eu são fortemente controladas pelos plagioclásios, dada a grande compatibilidade desse elemento (bivalente - Eu^{+2} - como o Ca) nesse mineral. Portanto, os diques de anomalias negativas mais evidentes têm sua evolução dependente do fracionamento dos plagioclásios.

Antes de encerrar o capítulo, cabe mencionar que todas as características geoquímicas dos diques E1 são idênticas às aquelas apresentadas por Pinese (1997) para os diques de sua suíte básico-norítica arqueana da região de Lavras-MG, a saber: ambos variam de andesitos basálticos a basaltos toleíticos nos diagramas TAS (Le Bas et al., 1986) e R1xR2 (De La Roche et al., 1980), têm os mesmos valores de Mg#, os mesmos padrões evolutivos nos diagramas Harker e as mesmas razões Zr/Y. Os padrões de ETR também são idênticos, com as mesmas razões (La/Yb)_N. Merecem destaque também as semelhanças geoquímicas entre os diques E5 e os diques neoproterozóicos de Dussin (1994) e Silva et al. (1995) do Espinhaço Meridional, como por exemplo as anomalias positivas de Eu, sem mencionar as semelhanças isotópicas abordadas no capítulo seguinte.

Enfim, a partir do tratamento dos resultados das análises de elementos maiores, traços e terras-raras realizado nesse capítulo ficam caracterizados, portanto, seis enxames de diques máficos derivados de fontes magmáticas distintas. Esses enxames posicionaram-se na crosta continental em diferentes momentos geológicos, conforme será visto no próximo capítulo, que trata exatamente da geocronologia.

CAPÍTULO VII - GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA - INFERÊNCIAS PETROGENÉTICAS E TECTÔNICAS

Este capítulo abordará os assuntos geocronologia e geoquímica isotópica dos diques, sendo que inferências petrogenéticas e tectônicas serão delineadas ao longo do mesmo.

VII.1 - Geocronologia

Dados K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd e algumas datações U-Pb (Teixeira et al., 1988; Machado et al., 1989; Carneiro, 1992; Dussin, 1994; Silva et al., 1995; Pine-se, 1997) constituem o acervo geocronológico dos diferentes enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco, incluindo as regiões do Espinhaço Meridional e Quadrilátero Ferrífero (tabela VII.1). As letras T, M, C, D, S e P da tabela VII.1 marcam, na figura VII.1, a localização aproximada dos diques datados.

Tabela VII.1: Resumo do acervo geocronológico dos diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco, incluindo o Espinhaço Meridional e Quadrilátero Ferrífero.

LOCAL (Fig.VII.1)	REFERÊNCIA	MÉTODO	MATERIAL	IDADE (Ma) e INTERPRETAÇÃO DOS AUTORES
T Complexos Belo Horizonte e Campo Belo	Teixeira et al. (1988)	K-Ar	Plagioclásio Anfibólio Rocha Total	1700-1800 (atuação do Transamazônico) 800-1100 (formação do dique) 500-700 (atuação do Brasileiro) 1800-2100 (atuação do Transamazônico) 500-700 (atuação do Brasileiro) 1300-1800 (atuação do Transamazônico e/ou formação de diques) 800-1100 (formação do dique) 500-700 (atuação do Brasileiro)
M Espinhaço Meridional	Machado et al. (1989)	U-Pb	Zircão - Badeleíta	906 ± 2 (formação do dique)
C Complexo Bonfim	Carneiro (1992)	K-Ar	Anfibólio	2000-2150 (atuação do Transamazônico) 1700 (atuação do Transamazônico) 1000 (formação do dique)
D Espinhaço Meridional	Dussin (1994)	K-Ar Sm-Nd	Rocha Total Rocha Total	170-220 (formação do dique) Inferida ao início do Neoproterozóico
S Espinhaço Meridional e Quadrilátero Ferrífero	Silva et al. (1995)	K-Ar U-Pb	Rocha Total Zircão - Badeleíta	120 (formação do dique) 1714 ± 5 (formação do dique)
P Complexo Campo Belo Meridional	Pinese (1997)	Ar-Ar K-Ar Rb-Sr Sm-Nd	Anfibólio Rocha Total Anfibólio Biotita Rocha Total Rocha Total	1910 ± 7 (formação do dique) 127 (formação do dique) 2160 (idade da paragênese anfibolítica) 1200 (evento metamórfico há 1,2 Ga) 2788 ± 79 (errócrona, formação do dique) 1875 ± 101 (erróc., atuação do Transam.) 2658 ± 44 (isócrona, formação do dique)

Figura VII.1 – Localização aproximada dos diques que constituem o acervo geocronológico regional, marcada pelas letras T, M, C, D, S e P, conforme tabela VII.1 (mod. de Silva et al., 1995). Neoproterozóico: Grupo Bambuí – 1; Grupo Salinas – 2; Grupo Macaúbas – 3; Paleo/Mesoproterozóico: Supergrupo Espinhaço – 4; Paleoproterozóico: Supergrupo Minas – 5; Arqueano: *Greenstone Belts* – 6; Terrenos granito-gnáissico-migmatíticos (alguns com retrabalhamento no Proterozóico) – 7; Cidades – 8; Falhas de empurrão – 9; Quadrilátero Ferrífero – QF; Espinhaço Meridional – EM.

O diversificado quadro geocronológico atual, aliado aos resultados obtidos no presente trabalho, apresentados a seguir, contribuirão para o entendimento da época e dos processos de injeção de diques máficos que atuaram nessa porção cratônica e adjacências, tendo em vista as metodologias empregadas e a interpretação integrada aos dados geoquímicos (as isócronas apresentadas neste capítulo foram construídas com a ajuda do software ISOPLOT - versão 2.10b - de Ludwig, K.R., 1999).

VII.1.1 – Enxame 1 (E1)

Para os diques E1, situados na extremidade sul da área estudada, não foram investidos esforços no sentido de se obter dados geocronológicos, haja visto que esses esforços foram realizados e recompensados nos trabalhos de Pinese (1997). Esse autor estudou detalhadamente diques básico-noríticos de alto Cr semelhantes aos E1 dos pontos 323 e 331, de tendência norítica, e 314 e 316, o prosseguimento evolutivo dos noritos, na região de Lavras, logo a sul da área investigada, conforme visto nos capítulos IV, V e VI.

Pinese (1997) definiu a época de formação desses diques básico-noríticos a partir de duas idades: uma isocrônica Sm-Nd de 2658 ± 44 Ma ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ inicial $0,50916 \pm 0,00005$, MSWD = 3), que agrupa dados de rocha total, plagioclásio e apatita, e outra errocrônica Rb-Sr de 2788 ± 79 Ma ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial $0,70110 \pm 0,00048$, MSWD = 31,5), com rochas totais. Uma idade aparente K-Ar em anfibólio de 2712 ± 300 Ma obtida para uma seqüência acamadada com peridotitos, piroxenitos e gabro-noritos, investigada na região do Ribeirão dos Motas por Carneiro et al. (1997) é, apesar do elevado erro, próxima às encontradas por Pinese (op. cit.). Estando essa seqüência também situada na porção sul da área investigada, entre Oliveira e Campo Belo, é sugestivo que os diques básico-noríticos de Pinese (op. cit.) e seus cogenéticos E1 estejam a ela relacionados, registrando as fases finais do evento Rio das Velhas.

VII.1.2 – Enxame 2 (E2)

Para o enxame E2 também não foram obtidos dados isotópicos, porém pelos motivos expostos no item I.3(d) da Introdução. Algumas especulações, contudo, são aqui permitidas: o fato de que os E2 não cruzam litologias do Supergrupo Minas e aparentemente cortam os diques arqueanos E1, sugere que os mesmos possam ser o registro do evento extensivo gerador da bacia Minas

que teria recebido os sedimentos dos Grupos Caraça, de caráter epiclástico, na transição Arqueano-Paleoproterozóico, e Itabira, de caráter químico, já no Paleoproterozóico. Este último inclui formações ferríferas bandadas e dolomitos datados por Babinski et al. (1995) em 2420 ± 19 Ma pelo método Pb-Pb.

A disposição dos corpos E2 para NW, W e SW alude a idéia de que irradiam a partir de uma provável ex-junção triplíce compreendida pelo que hoje são as Serras do Curral, de direção aproximada E-W, e da Moeda, de direção N-S (ver mapa anexo), que guardam metasedimentos do Supergrupo Minas. O braço da Serra do Curral que se prolonga de Belo Horizonte até as proximidades da cidade de Itaúna poderia ter sido, nessa fase extensiva, o braço abortado da junção triplíce. A disposição radial dos diques a partir desse eventual braço abortado está de acordo com o modelo de intrusão de diques em regime extensional proposto por Fahrig (1987), apresentado na figura III.1.

VII.1.3 – Enxame 3 (E3)

Um dos diques que se preservou da deformação causada pelos movimentos horizontais transpressivos das zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas, que atuou na maior parte dos E3, e que, portanto, reteve suas características ígneas, foi encontrado no ponto 330. De uma amostra proveniente desse dique, de mesmas características geoquímicas dos demais E3 e praticamente inalterado intempericamente, foi feita a separação das seguintes frações de concentrados minerais: a) máficos + félsicos, isentos de minerais magnéticos isolados por imã de mão, b) máficos e c) félsicos, que foram, juntamente com o material da rocha total, analisados pelo método Rb-Sr usando a técnica de diluição isotópica. A separação desses concentrados segue a metodologia utilizada por Pandey et al. (1997), os quais obtiveram sucesso na datação de diques máficos do Cráton Dharwar, Índia. Os resultados analíticos Rb-Sr para os concentrados e a rocha total do dique 330 encontram-se na tabela VII.2.

A partir dos dados da tabela VII.2, foi obtida a isócrona interna da figura VII.2, que produziu uma idade mínima de intrusão de 2189 ± 45 Ma (1σ) e uma razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de $0,702027 \pm 0,000041$, típica de fonte mantélica, com um MSWD (*Mean Square of Weighted Deviates*) de 0,96.

Tabela VII.2: Dados analíticos Rb-Sr, obtidos por diluição isotópica, para a amostra do dique do ponto 330, representante não-metamorfisado dos E3 (tipo E3A).

MATERIAL / N° CPGeo	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erro	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro
ROCHA TOTAL / 13800	5,74	151,99	0,1093	0,0010	0,705400	0,000080
MÁFICOS + FÉLSICOS / 13899	4,98	193,94	0,0742	0,0006	0,704391	0,000013
FÉLSICOS / 13898	3,26	240,71	0,0391	0,0003	0,703256	0,000010
MÁFICOS / 13897	3,62	23,93	0,4387	0,0036	0,715835	0,000097

Figura VII.2: Isócrona interna Rb-Sr do dique do ponto 330, pertencente ao enxame E3. O valor da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,702027 é adequado para diques paleoproterozóicos de origem mantélica.

A idade em torno de 2,2 Ga parece representar o início da fase orogenética transamazônica no setor sul do Cráton do São Francisco, que se definia propriamente como Cráton nesse momento geológico. Portanto, a 2,2 Ga teriam sido geradas as referidas zonas de cisalhamento transcorrente, em cujas porções transtensionais o magma dos E3 intrudiu.

A continuidade da movimentação horizontal ao longo das zonas de cisalhamento transcorrente durante o evento deformacional transamazônico teria ocasionado o aparecimento das feições anfibolíticas e das *sheared margins* na maior parte dos diques E3, justamente posicionados nessas zonas.

Dados adicionais disponíveis na literatura parecem confirmar as proposições feitas aqui:

a) as idades K-Ar em anfibólitos entre 1900-2160 Ma (fechamento do sistema K-Ar) de diques anfibolíticos do setor sul do Cráton, obtidas por Teixeira et al. (1988), Carneiro (1992) e Pinese (1997), apresentados na tabela VII.1, bem como de 2059 ± 6 Ma de um enclave anfibolítico em migmatito do Complexo Belo Horizonte (U-Pb, Noce, 1995), representativas da contínua geração e concomitante deformação dos E3 entre 2,2-2,0 Ga.

b) a própria evolução do orógeno transamazônico, denominado por Teixeira (1985) de Cinturão Mineiro, com granitóides intrusivos como o batólito Alto Maranhão, datado por Noce (1995) em 2124 ± 2 Ma, bem como zircões detríticos oriundos de metagrauvaca de contribuição vulcânica - sedimentação tectogênica da Formação Sabará (Supergrupo Minas), datados pelo método U-Pb em 2124 ± 4 Ma (Machado et al., 1996). O pico dos eventos metamórficos nesse orógeno transamazônico parece ter sido em torno de 2050 Ma, a julgar por idades U-Pb de 2041 ± 5 Ma em titanitas do Complexo Bação, situado no interior do Quadrilátero Ferrífero (Noce, 1995).

c) a existência de diques máficos de mesma idade, com características petrográficas e geoquímico-isotópicas semelhantes, posicionados em um contexto tectônico similar aos E3, em Uauá - Bahia, setor norte do Cráton do São Francisco (Bastos Leal et al., 1994; Bellieni et al., 1995).

Três amostras indeformadas coletadas por Pinese (1997) na região de Lavras, numeradas 19, 60 e 100 e localizadas próximo ao ponto 330, apresentaram-se petrografica e geoquimicamente semelhantes à amostra desse ponto. Algumas dessas semelhanças, incluindo análises isotópicas Sm-Nd, são percebidas na tabela VII.3. Essas amostras serão utilizadas no item VII.2, que trata da geoquímica isotópica.

VII.1.4 – Enxame 4 (E4)

Na tentativa de determinar a idade e conseguir informações petrogenéticas do enxame E4, o mais representativo em termos de dimensões e número de corpos da área, foram investidos esforços para a obtenção de dados pelos métodos Rb-Sr e Sm-Nd.

Além das razões $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ terem sido determinadas em rocha total para as amostras ESM8, 351, 370, 254, 384 e 274, elas também o foram para as frações de concentrados minerais: a) máficos + félsicos, isentos de minerais magnéticos, b) máficos e c) félsicos das amostras 274 e 384 (tabela VII.4).

Tabela VII.3: Análises químicas e razões isotópicas Sm-Nd em rocha total das amostras coletadas por Pinese (1997) -* e da amostra 330, todas realizadas nos mesmos laboratórios (Trieste, Itália e CPGeo, São Paulo). Os óxidos de elementos maiores estão expressos em % em peso e os elementos traços e terras-raras são dados em ppm.

Amostra	330 (E3)	19*	60*	100*
SiO ₂	50,18	49,42	51,03	49,2
TiO ₂	1,21	1,85	1,40	2,05
Al ₂ O ₃	14,22	15,45	14,43	15,3
FeOT	13,36	13,82	13,48	14,22
MnO	0,23	0,22	0,23	0,22
MgO	6,37	5,75	6,33	5,48
CaO	11,98	10,29	10,41	10,48
Na ₂ O	2,20	2,67	2,37	2,55
K ₂ O	0,15	0,26	0,27	0,27
P ₂ O ₅	0,10	0,27	0,13	0,31
Cr	219	189	189	220
Ni	96	104	75	95
Rb	5	7	9	10
Nb	3	11	10	13
Zr	60	170	105	196
Y	14	52	34	54
Sr	104	113	110	110
Ba	32	67	60	79
La	6,51	11,5	7,1	11,7
Ce	15,80	26,0	19,0	28,0
Nd	11,00	11,00	11,0	20,0
Sm	3,03	4,47	3,11	4,45
Eu	0,80	1,30	1,00	1,22
Yb	2,07	3,60	2,87	3,79
Mg#	50,0	45,7	48,9	43,9
Sm	2,343	5,456	3,457	5,866
Nd	7,282	18,851	11,364	20,328
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0,1946	0,1761	0,1851	0,1756
Erro	0,0007	0,0001	0,0001	0,0001
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0,512556	0,512311	0,512444	0,512287
Erro	0,000008	0,000028	0,000053	0,000036
$\epsilon_{\text{Nd}}(2,2 \text{ Ga})$	-1,0	-0,5	-0,5	-0,9

Tabela VII.4: Dados analíticos Rb-Sr em rocha total, obtidos pela técnica de diluição isotópica, para amostras representativas dos diques E4. As amostras 274 e 384 tiveram isoladas as frações de concentrados minerais: a) máficos + félsicos (MF), isentos de minerais magnéticos, b) máficos (M) e c) félsicos (F) que, além do material da rocha total (RT), foram analisadas.

Amostra - Nº CPGeo	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erro	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro
ESM8(RT) – 12979	71,40	334,70	0,6180	0,0170	0,72078	0,00008
351(RT) – 13879	56,17	172,00	0,9472	0,0080	0,72942	0,0001
370(RT) – 13880	58,76	160,67	1,0610	0,0089	0,73212	0,0002
254(RT) – 13792	75,81	146,53	1,5026	0,0126	0,74274	0,00008
384(RT) – 13881	53,52	175,22	0,8859	0,0079	0,72867	0,0007
384 (F) – 13959	56,18	329,47	0,4941	0,0041	0,721486	0,000013
384 (M) – 13960	47,53	26,14	5,2927	0,0439	0,767094	0,000103
384(MF) – 13961	50,10	188,92	0,7691	0,0064	0,729207	0,000012
274(RT) – 13794	118,37	195,37	1,7609	0,0148	0,75000	0,0001
274 (F) – 13895	133,49	71,18	5,4729	0,0452	0,792754	0,000012
274 (M) – 13894	71,93	44,42	4,7313	0,0396	0,805838	0,000076
274(MF) – 13896	116,70	293,16	1,1563	0,0112	0,744911	0,000012

Quando os resultados da rocha total desses seis diques E4 são lançados no diagrama $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da figura VII.3, uma idade isocrônica de 1740 ± 54 Ma (1σ), com razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de $0,70562 \pm 0,00092$ (MSWD = 1,3) é encontrada. Essa idade é interpretada como a idade de intrusão dos E4, atestando que, de certa forma, o sistema Rb-Sr na rocha total não foi bastante afetado. Relembrando, as observações de campo mostram que os diques E4 cruzam os E3 e as litologias do Supergrupo Minas, com idades entre 2,5-2,0 Ga, e não cortam aquelas do Grupo Bambuí, com 0,9-0,6 Ga.

Já as amostras individuais 274 e 384, quando tiveram lançados seus concentrados e sua rocha total nesses diagramas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, a maneira do que foi feito na figura VII.2, apresentaram idades entre 0,6-0,9 Ga, com razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da ordem de 0,720-0,730 e valores de MSWD muito elevados. Essas informações parecem refletir distúrbios isotópicos Rb-Sr diferenciados nas fases minerais dos diques, provavelmente causados pelo episódio tectonotermal brasileiro (~0,6 Ga) posterior a intrusão dos E4.

O dado mais afastado na parte superior do diagrama da figura VII.3 promoveu um bom espalhamento em relação aos demais dados, pois corresponde à rocha total de um diferenciado félsico (porção interna mais evoluída de diques espessos, onde concentram-se minerais félsicos) do corpo 274, pertencente ao conjunto dos E4.

Figura VII.3: Diagrama isocrônico Rb-Sr para diques do enxame E4. Todos os pontos da isócrona correspondem a dados obtidos em rocha total.

A idade de 1740 ± 54 Ma corrobora com a idade de 1714 ± 5 Ma - intercepto superior da discórdia U-Pb - encontrada por Silva et al. (1995) para o Gabro Ibirité, que cruza litologias do Supergrupo Minas. Esses autores verificaram que, para o intercepto inferior da discórdia, há uma idade de 618 ± 3 Ma, por eles interpretada como a superimposição promovida pelo evento tectonotermal brasileiro sobre o corpo.

Tabela VII.5: Dados analíticos Sm-Nd em rocha total, obtidos pela técnica de diluição isotópica, para amostras 274, 384 e 16 dos diques E4. Valores de ϵ_{Nd} recalculados para 1,7 Ga também encontram-se nessa tabela.

Amostra – N° CPGeo	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$\epsilon_{Nd}(1,7 \text{ Ga})$
274(RT) – 1132	22,825	103,613	0,1332	0,0005	0,511918	0,000009	-0,2
384(RT) – 1311	7,972	31,734	0,1519	0,0005	0,512008	0,000014	-2,5
16 (RT) – 1130	12,328	56,889	0,1310	0,0005	0,511779	0,000016	-2,5

As impressionantes feições dos E4 no mapa aeromagnético da figura IV.2, mesmo por sob a cobertura neoproterozóica Bambuí, aliadas às informações de sentido de fluxo magmático horizontal de sentido NW → SE (ver fotografia IV.3 e tabela VI.2), posicionam sua fonte à noroeste do setor sul do Cráton do São Francisco. Os valores de $\epsilon_{Nd}(1,7 \text{ Ga})$ entre -0,2 e -2,5

(tabela VII.5), parecem indicar que o magma gerador dos E4 sofreu um pequeno grau de residência crustal e, sendo eles próximos a zero, apontariam para uma fonte pouco diferenciada, talvez diapirismo mantélico ou “pluma” (Wasserburg & De Paolo, 1979; Ernst et al., 1995).

A subsidência decorrente da extensão relacionada à colocação dos E4, registrando localmente a ampla Tafrogênese do Estateriano - período superior do Paleoproterozóico - que marca a quebra da massa continental paleoproterozóica pré-existente, designada Atlântica (Brito Neves, 1999), teria levado à formação de bacias em ambiente de rift a norte do setor sul do Cráton do São Francisco, cuja sedimentação é de mesma idade dos E4 (e.g. Grupo Arai). Já a leste do Cráton, esse episódio extensivo culminou na deposição dos sedimentos do Supergrupo Espinhaço e Mayombe (equivalente africano), também há 1,7 Ga e em sistema de rift (Brito Neves et al, 1979), conforme figura VII.4.

VII.1.5 – Enxame 5 (E5)

Para um diferenciado félsico (porção interna mais evoluída do dique, onde concentram-se minerais félsicos) do corpo 306 (E5), foram analisadas pelo método Rb-Sr, além da rocha total, as frações dos concentrados minerais, pela técnica de diluição isotópica (tabela VII.6). Esses dados não produziram um alinhamento satisfatório num diagrama isocrônico $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e, portanto, uma idade por essa metodologia não pôde ser obtida. Da mesma maneira que o ocorrido aos E4, é provável que o episódio tectonotermal brasileiro (~0,6 Ga) posterior a intrusão dos E5, com cerca de 1,0 Ga, conforme dado inédito a seguir, tenha causado distúrbios isotópicos Rb-Sr diferenciados nas fases minerais do dique.

Tabela VII.6: Dados analíticos Rb-Sr, obtidos por diluição isotópica, para rocha total e frações de concentrados minerais da amostra do diferenciado félsico do dique 306 (E5).

MATERIAL / N° CPGeo	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erro	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro
ROCHA TOTAL / 13799	59,27	397,57	0,4317	0,0038	0,71426	0,00016
MAFICOS + FÉLSICOS / 13958	82,46	391,03	0,6108	0,005	0,715743	0,000011
FÉLSICOS / 13956	69,68	611,56	0,3299	0,0027	0,712918	0,000012
MAFICOS / 13957	17,32	169,30	0,2962	0,0025	0,713731	0,000016

A rocha total da amostra 306 foi analisada, também por diluição isotópica, pelo método Sm-Nd e os resultados apontaram para características isotópicas semelhantes aos diques do Espinhaço Meridional estudados por Dussin (1994), cuja localização é percebida na figura VII.1. Entre

essas similaridades (tabela VII.8), destaca-se a proximidade dos valores de idades modelo (T_{DM}) para os diques de Dussin (1994), no intervalo 1,55-1,62 Ga, e para a amostra 306, com 1,44 Ga.

Figura VII.4 – Esquema sugerido nessa Tese para a intrusão do Enxame E4 (modificado de Brito Neves, 1992). A partir de uma provável pluma mantélica situada à noroeste do setor sul do Cráton do São Francisco, o magma dos diques E4 teria irradiado por sob a litosfera, em fluxo horizontal e sentido NW → SE, para o interior da área investigada, preenchendo as fraturas então geradas. A subsidência decorrente do evento extensivo relacionado à colocação dos E4, por volta de 1,7 Ga (registro local da ampla Tafrogênese do Estateriano), teria levado à formação de bacias à norte do setor sul do Cráton do São Francisco, cuja sedimentação é de mesma idade dos E4 (e.g. Grupo Araí). Já do lado leste do Cráton, esse episódio extensivo culminou na deposição dos sedimentos do Supergrupo Espinhaço e Mayombe (equivalente africano), também há 1,7 Ga. Conferir, para os E4, as feições de fluxo magmático horizontal das fotografias IV.3 e IV.4, bem como o mapa aeromagnético da figura IV.2.

Os dados Sm-Nd publicados por essa autora e os do ponto 306 estão apresentados na tabela VII.7. Quando esses dados são lançados no diagrama $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ da figura VII.5, fornecem uma idade isocrônica de 984 ± 110 Ma (1σ), sendo a razão inicial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de $0,511355 \pm 0,000098$ (MSWD = 1,8).

Como nos E4, os valores de $\epsilon_{\text{Nd}}(0,9 \text{ Ga})$ levemente negativos, entre $-0,3$ e $-1,0$, parecem indicar que o magma gerador dos E5 sofreu algum grau de residência crustal e, sendo eles próximos a zero, apontariam para uma fonte mantélica de composição próxima a condrítica, provavelmente uma pluma (Wasserburg & De Paolo, 1979; Ernst et al., 1995), confirmada pela razão inicial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de $0,511355$.

A exemplo das regiões de Ilhéus-Olivença e de Salvador, na Bahia (Bellieni et al., 1991; Moraes-Brito et al, 1993), onde afloram diques máficos indeformados datados pelo método Ar-Ar em $1,0\text{-}1,1$ Ga por D'Agrella Filho et al. (1990) e Renne et al. (1990), bem como em 924 ± 24 Ma pelo método U-Pb (Heaman, 1991), os diques E5 e aqueles de Dussin (1994) parecem registrar o evento extensivo do início do Neoproterozóico - Tafrogênese Toniana - no Cráton do São Francisco. Esse episódio marca regionalmente a quebra da massa continental mesoproterozóica pré-existente, denominada Rodínia (Brito Neves, 1993; Brito Neves et al, 1993; Brito Neves, 1999).

A investigação do sentido de propagação magmática nos diques de Ilhéus-Olivença/Salvador, como também nos diques de Sembe-Ouessou, aflorantes no Cráton do Congo, feita por Correa-Gomes & Oliveira (1997) e apoiada por Martins-Neto (1998), permitiu o reconhecimento de um mega sistema filoniano radial neoproterozóico derivado de pluma mantélica (fig. VII. 6). Os diques E5 e alguns diques do Espinhaço Meridional corresponderiam, então, à irradiação desse magmatismo, para dentro do setor sul do Cráton do São Francisco, conforme estudos de evolução geoquímica ao longo de um dos diques E5 no sentido NE $\rightarrow$ SW (tabela VI.2).

A propósito, a idade Sm-Nd encontrada de 984 ± 110 Ma coaduna-se a outra U-Pb de 906 ± 2 Ma (Machado et al., 1989) de um dique do Espinhaço Meridional (fig. VII.1). Cabe ressaltar que a maioria dos diques neoproterozóicos do Espinhaço Meridional encontra-se metamorfisada devido à tectônica compressiva das fases finais do evento Brasileiro na faixa móvel Araçuai, onde estão inseridos.

Tabela VII.7: Dados analíticos Sm-Nd em rocha total (RT), obtidos pela técnica de diluição isotópica, para a amostra 306, diferenciado félsico do mesmo dique (E5). As amostras que se iniciam com “T” foram tiradas de Dussin (1994), provenientes do Espinhaço Meridional. Valores de ϵ_{Nd} recalculados para 0,9 Ga também encontram-se nessa tabela.

Amostra	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro	$\epsilon_{Nd}(0,9 \text{ Ga})$
306(RT)	13,797	73,012	0,11430	0,0004	0,512100	0,000008	-1,0
T618 (RT)	2,950	13,690	0,13042	0,0005	0,512188	0,000010	-1,0
T66(RT)	2,710	12,300	0,13296	0,0005	0,512205	0,000010	-0,9
T28(RT)	6,920	30,010	0,13943	0,0005	0,512246	0,000010	-0,9
T626(RT)	5,200	21,390	0,14709	0,0005	0,512321	0,000010	-0,3

Figura VII.5: Diagrama isocrônico Sm-Nd para diques neoproterozóicos do setor sul do Cráton do São Francisco e Espinhaço Meridional.

Na área do Espinhaço Meridional, a subsidência decorrente da extensão neoproterozóica resultou na deposição dos sedimentos do Grupo Macaúbas, concomitantemente à glaciação homônima que se desenvolvia na região e do Grupo Salinas, com turbiditos em ambiente de rift. Essa extensão parece ter evoluído para ambientes oceânicos, dadas algumas evidências da existência do paleo-oceano Adamastor (Pedrosa-Soares, 1995). FUCHS et al. (1994) encontraram rochas neoproterozóicas semelhantes a ofiolitos dentro da Faixa Brasília, registrando também abertura oceânica à oeste do Cráton, o que conformaria uma “paleo-península São Francisco” nessa era. Na sequência dessa extensão, teria se dado a deposição do Grupo Bambuí (não cortado pelos E5, o que define a idade máxima de 0,9 Ga para a deposição desse grupo) e do Grupo West-Congo (equivalente africano) em mar epicontinental.

Figura VII. 6 – Esquema do mega sistema filoniano radial derivado de pluma mantélica na interfície Brasil (Cráton do São Francisco) / África (Cráton do Congo-Zaire) há 1,0 Ga (modificado de Correa-Gomes & Oliveira, 1997). As zonas distensivas aparecem indicadas pelas setas antagônicas menores e os planos de propagação magmática pelas setas maiores de pontas fechadas. Presume-se que os diques E5 e alguns diques do Espinhaço Meridional corresponderiam à irradiação desse magmatismo para o interior do setor sul do Cráton do São Francisco, no sentido NE → SW.

VII.1.6 – Enxame 6 (E6)

Dois diques de direções aproximadas E-W afloram no setor sul do Cráton do São Francisco (pontos 256 e 288), mostrando-se petrográfica e geoquimicamente distintos em relação aos diques dos demais enxames. Com os mais baixos valores de Mg# (20-30), estes corpos, sem dados isotópicos, são inferidos ao Mesozóico, em virtude do aparecimento de diques similares nas regiões adjacentes do Espinhaço Meridional, Quadrilátero Ferrífero e imediações da cidade de Lavras, datados pelo método K-Ar entre 220-120 Ma por Dussin (1994), Silva et al. (1995) e Pinese (1997).

VII.2 - Geoquímica Isotópica

Com os valores de idades para os enxames E1, E3, E4 e E5 (os enxames E2 e E6 têm as suas idades inferidas) em mãos, as razões Rb/Sr, Sm/Nd, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ e $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$, bem como os valores de ϵ_{Nd} e idades modelo (T_{DM}) foram calculados para as amostras investigadas. Os resultados mostram-se semelhantes aos de outros diques relacionáveis da literatura (tabela VII.8) e serão todos utilizados em conjunto no tratamento que se segue.

Tabela VII.8: Dados das razões Rb/Sr e Sm/Nd, razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, de ϵ_{Nd} e idades modelo (T_{DM}) dos diques máficos dos enxames E1 (arqueano), E3, E4 (paleoproterozóicos) e E5 (Neoproterozóico). Os valores de ϵ_{Nd} estão recalculados para as idades dos respectivos enxames. (*) dados extraídos de Pinese (1997); (**) valores extraídos de Dussin (1994). (***) valores de ϵ_{Nd} recalculados para 2,2 Ga, que corresponde à idade modelo. DF-diferenciado félsico.

Amostra	Rb/Sr	Sm/Nd	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	ϵ_{Nd}	$T_{\text{DM}} \text{Nd (Ga)}$
ENXAME 1 (E1 = 2,65 Ga)						
25*	0,23	0,23	0,701740	0,50912	-2,1	2,86
28*	0,11	0,25	0,701500	0,50915	-1,5	2,80
112*	0,16	0,22	0,700170	0,50948	+1,6***	2,24
70*	0,16	0,22	0,700090	0,50952	+2,5***	2,17
ENXAME 3 (E3 = 2,2 Ga)						
330	0,04	0,32	0,701932	0,509736	-1,0	3,08
19*	0,06	0,29	0,702530	0,51011	-0,5	2,65
60*	0,06	0,30	0,703180	0,51013	-0,5	2,75
100*	0,08	0,29	0,701790	0,51009	-0,9	2,70
ENXAME 4 (E4 = 1,7 Ga)						
274(DF)	0,61	0,22	0,706975	0,510429	-0,2	2,13
384	0,31	0,25	0,707024	0,510310	-2,5	2,58
ENXAME 5 (E5 = 0,9 Ga)						
306(DF)	0,15	0,19	0,708708	0,511425	-1,0	1,44
T618**	-	0,22	0,708120	0,511409	-1,0	1,55
T28**	-	0,23	0,707930	0,511413	-0,9	1,62

Quando os dados das razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das amostras dos quatro referidos enxames são lançados no diagrama da figura VII.7, que representa a evolução do Sr de acordo com o modelo do Reservatório Uniforme (UR) ou “Terra Global”, nota-se que todos se posicionam acima da linha evolutiva da “Terra Global”. Essa observação sugere, para esses enxames representados, fontes enriquecidas nas razões Rb/Sr. As duas amostras dos termos mais evoluídos dos E1, cujos dados de Pinese (1997) correspondem às amostras 314 e 316 dessa Tese e que, na verdade, não devem ser propriamente arqueanos em virtude de seus valores de T_{DM} de cerca de 2,2 Ga (apesar

de suas semelhanças geoquímicas com os demais E1), não foram lançadas nos diagramas das figuras VII.7, VII.8 e VII.9.

Figura VII.7: Diagrama de evolução isotópica do Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial) com o tempo geológico para quatro dos seis enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco e adjacências ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ atual = 0,7045; Faure, 1986).

No diagrama de evolução do Nd, representado na figura VII.8, somente os diques E3 apresentam-se um pouco acima da linha evolutiva “Terra Global” (CHUR), sugerindo uma fonte enriquecida nas razões Sm/Nd. Os diques E1, bem como os diques E4 e os E5, localizam-se ligeiramente abaixo da referida linha evolutiva, o que aponta para fontes levemente empobrecidas nas razões Sm/Nd em relação a “Terra Global”.

De modo a delinear as características isotópicas de Sr e Nd das fontes dos enxames de diques E1, E3, E4 e E5, foi construído o diagrama ϵ_{Nd} versus razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ da figura VII.9, a partir do qual é percebido que elas representam fontes mantélicas enriquecidas em relação à “Terra Global”, dados os valores negativos de ϵ_{Nd} e maiores razões iniciais $^{87}Sr/^{86}Sr$ do que a “Terra Global” para a época de colocação de cada enxame (os valores das razões estão nos dizeres da figura VII.9). E, corroborando as informações retiradas das figuras VII.7 e VII.8, essas fontes apresentam altas razões Rb/Sr e baixas razões Sm/Nd, com exceção dos E3, cujas razões Sm/Nd são ligeiramente mais altas em relação à “Terra Global” pela figura VII.8.

Figura VII.8: Diagrama de evolução isotópica do Nd ($^{143}Nd/^{144}Nd$ inicial) com o tempo geológico para quatro dos seis enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco e adjacências ($^{143}Nd/^{144}Nd$ atual = 0,512638; Faure, 1986).

Sobre os diques mais evoluídos dos E1, representados pelas amostras 70 e 112 de Pinese (1997), que correspondem às amostras 314 e 316 dessa Tese, é plausível supor que tenham sido gerados por fusão parcial do material residual solidificado dos E1 (talvez a seqüência acamadada de Ribeirão dos Motas, de Carneiro et al., 1997), em virtude do aporte térmico trazido pelo magma

gerador dos E3, a cerca de 2,2 Ga. Esse fato se apóia nas idades modelos (T_{DM}) das amostras 70 e 112, entre 2,17 e 2,24 Ga e explicaria a maior razão Rb/Sr (0,16) e menor razão Sm/Nd (0,22) nessas amostras em relação à “Terra Global”. Numa outra perspectiva, talvez representem parte do próprio líquido residual do fracionamento dos E1 menos evoluídos.

Figura VII.9: Diagrama de ϵ_{Nd} versus razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ para os diques máficos da área estudada, incluindo amostras da região do Espinhaço Meridional. Os valores de $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ da Terra Global são 0,7013 para 2,65 Ga (idade dos E1), 0,7018 para 2,2 Ga (idade dos E3), 0,7025 para 1,7 Ga (idade dos E4) e 0,7035 para 0,9 Ga (idade dos E5).

A respeito dos diques E4, a cogeneticidade entre os E4B e os E4A (ver caps. V e VI) é sugerida também através das investigações pelo método Sm-Nd, uma vez que a amostra 16 (E4B) apresentou razão Sm/Nd igual a 0,22, razão inicial $^{143}Nd/^{144}Nd$ de 0,510314, $\epsilon_{Nd}(1,7 \text{ Ga})$ igual a -2,5 e idade modelo (T_{DM}) de 2,34 Ga, dados que se coadunam aos apresentados para as amostras 274 e 384 (E4A) na tabela VII.8.

Ainda sobre os E4, processos de assimilação de crosta continental parecem ter ocorrido na sua evolução, em função do exposto: a mistura de dois componentes, no caso dique e embasamento, com diferenças nas composições dos isótopos de Sr, necessariamente produzem pontos dispostos numa linha reta entre os dois membros no diagrama razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ versus $1/Sr$ da figura VII.10, segundo Briquet & Lancelot (1979) e Dickin (1995). Nessa figura, onde todos os valores foram recalculados para 1,7 Ga, nota-se a disposição das amostras dos diques E4 sobre o

alinhamento definido pela seta que parte da fonte dos E4 em direção às encaixantes, cujos dados foram retirados de Teixeira et al. (1996). Essa observação sugere, portanto, algum grau de assimilação de crosta continental pelo magma desses diques antes (fase de residência crustal) ou durante a sua colocação, podendo ela ter sido a responsável pelo valor relativamente elevado das razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos E4, acima de 0,705.

Para os demais enxames, a investigação sobre processos de contaminação crustal não pôde ser aqui realizada devido à falta de dados. Porém, Pinese (1997) afirma que a maioria dos diques da região de Lavras, imediatamente a sul da área investigada, praticamente não foi afetada por processos de assimilação crustal. Os diques investigados por ele são similares aos E1 e E3. Para alguns diques do Espinhaço Meridional, correlacionáveis aos E5, Dussin (1994) assume assimilação de material crustal na evolução dos magmas dos mesmos, dados os elevados valores para suas razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ recalculadas para 0,9 Ga (0,70793-0,70812).

Figura VII.10: Diagrama razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ versus $1/\text{Sr}$ para diques E4 e rochas do embasamento do setor sul do Cráton do São Francisco. Todos os valores estão recalculados para 1,7 Ga e foram retirados de amostras da região do Complexo Campo Belo. Os dados do embasamento são de Teixeira et al. (1996). A disposição das amostras E4 sobre o alinhamento definido pela seta sugere assimilação de crosta continental pelo magma desses diques.

Conforme item VII.1.2, os E2 são inferidos como representantes do evento extensivo gerador da abertura de bacias sedimentares que teriam recebido os sedimentos do Supergupo Minas, na

transição Arqueano-Paleoproterozóico, e os E6 são pensados como o registro, nessa porção cratônica, da fragmentação do supercontinente Fanerozóico Gondwana, a cerca de 200-100 Ma.

Informações adicionais sobre os enxames podem ser obtidas a partir dos padrões médios de abundâncias de elementos menores e traços incompatíveis normalizados ao manto primitivo para os mesmos (figura VII.11). De um modo geral, os enxames mais jovens, E4, E5 e E6 são os mais enriquecidos tanto em elementos litófilos com íons de grande tamanho - *LILE* (K, Rb, Ba e Sr) quanto em elementos de alta densidade de carga - *HFSE* (Ti, Zr, Nb e P).

Figura VII.11: Padrões médios de abundâncias de elementos incompatíveis normalizados ao manto primitivo (normalização segundo Sun & McDonough, 1989) dos diferentes enxames de diques máficos do setor sul do Cráton do São Francisco.

Cada enxame possui um padrão próprio de elementos incompatíveis, com características peculiares, como por exemplo, a anomalia negativa de P dos E1, marcada pela cristalização

limitada de minerais como a apatita. As anomalias negativas de Sr de outros enxames deve-se ao fato de suas fontes serem originalmente empobrecidas nesse elemento (altas razões Rb/Sr em relação à Terra Global).

Invariavelmente, os conteúdos de Nd superam os de Sm em todos os enxames, o que corrobora com as baixas razões Sm/Nd de suas fontes em relação à Terra Global.

A anomalia negativa de Nb em praticamente todos os enxames, típica de envolvimento com crosta continental, pode, em muitos deles, ter sido causada por esse fator petrogenético – assimilação crustal, como por exemplo, no enxame E4, dadas evidências isotópicas registradas na figura VII.10.

Ainda quanto aos diques E4, nota-se padrões semelhantes para os E4A e E4B, o que mais uma vez confirma a relação entre eles.

Enfim, com base nas informações petrográficas, geoquímicas, geocronológicas e isotópicas, fica caracterizado que os seis enxames de diques máficos da área investigada originaram-se de fontes mantélicas levemente enriquecidas e distintas no tempo geológico, a saber: a 2,65 Ga (E1), 2,6-2,5 Ga (inferência sobre os E2), 2,2 Ga (E3), 1,7 Ga (E4), 0,9 Ga (E5) e 0,2-0,1 Ga (inferência sobre os E6). Em outras palavras, uma vez que os diferentes enxames intrudiram em intervalos diferentes do tempo geológico, o monitoramento da evolução do manto sob a crosta continental do que atualmente chamamos de Cráton do São Francisco nos diz que, em termos dos isótopos de Nd, ele praticamente seguiu a evolução da “Terra Global”. Já quanto aos isótopos de Sr, ficou evidenciado que as fontes enriqueceram-se em relação à “Terra Global”.

Como em escala global, no setor sul do Cráton do São Francisco o pré-cambriano representou a fase na qual magmatismos básicos intraplaca, registrados na forma de enxames de diques máficos, foram mais intensos, próprios dos maiores gradientes geotérmicos daquela época e da conseqüente necessidade de perda de calor por parte do interior (manto) terrestre.

CAPÍTULO VIII – CONCLUSÕES

VIII.1 – Resultados e Discussões

As investigações de cunho geológico, petrográfico, geoquímico e geocronológico/isotópico desenvolvidas na presente Tese, integradas aos dados disponíveis na literatura, permitiram distinguir, na porção meridional do Cráton do São Francisco, seis manifestações de magmatismo básico de derivação mantélica, na forma de enxames de diques. Registrando importantes eventos geológicos regionais, os enxames, nomeados E1, E2, E3, E4, E5 e E6, guardam características geoquímico/isotópicas bem definidas, apesar das inúmeras similaridades entre seus corpos em escala de afloramento (larguras, coloração, granulação). Genericamente todos mostram texturas ígneas subofíticas a intergranulares e uma seqüência de cristalização com augitas e plagioclásios como minerais primários (alguns com ortopiroxênios e olivinas), seguida de opacos, biotita, apatita, quartzo (e titanita ou zircão) e feições de saussuritização e uralitização. Diques anfibolíticos, com coronas de granada metamórfica, aparecem no enxame E3.

O mais antigo “enxame” de diques máficos (E1, neoarqueano) está representado basicamente por dois corpos dentro da área investigada, na sua porção extremo-sul, cruzando gnaisses-migmatíticos do Complexo Campo Belo. Eles preservam texturas ígneas granulares hipidiomórficas a intergranulares. Com cerca de 50 Km cada, apresentam direção NW e, em termos geoquímicos, variam de toleítos a andesitos basálticos, com os maiores valores de $Mg\#$ (55 a 75, indicando magmas pouco fracionados) e menores razões Zr/Sr dentre os enxames estudados. O padrão de elementos terras-raras (ETR) mostra um pronunciado fracionamento das leves (ETRL) em relação às pesadas (ETRP), com anomalias negativas de Eu.

Pinese (1997) encontrou para diques cogenéticos aos E1, na região adjacente de Lavras, uma idade Sm-Nd de 2658 ± 44 Ma e deduziu que, praticamente isentos de contaminação crustal, se originaram de fonte mantélica enriquecida nas razões Rb/Sr e empobrecida na razão Sm/Nd em relação à “Terra Global”. Os valores de ϵ_{Nd} (2,65 Ga) variam de -1,5 a -2,1 para os diques menos evoluídos (T_{DM} 2,80-2,86 Ga) e de +1,6 a +2,5 para os mais evoluídos (T_{DM} 2,17-2,24 Ga). Provavelmente, os diques E1 e os básicos-noríticos de Pinese (op. cit.), ambos do mesmo enxame, registram as fases finais do evento Rio das Velhas.

Sem dados isotópicos, o enxame E2 mostra seus corpos cortando gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim e as litologias do Supergrupo Rio das Velhas, com largura entre 10 e 50 metros e comprimento entre 20 e 100 quilômetros. O fato de que os diques E2 não cruzam litologias do Supergrupo Minas e aparentemente cortam os diques arqueanos E1 sugere a especulação de que os mesmos teriam irradiado para NW, W e SW a partir de uma fonte situada à leste da área, nas imediações do Quadrilátero Ferrífero, e corresponderiam ao registro do evento extensivo gerador da bacia que teria recebido os sedimentos do Supergrupo Minas, na transição Arqueano-Paleoproterozóico. Seus valores de Mg# (40-60), apenas inferiores aos dos diques E1, indicam magmas mais fracionados que desses últimos. Variam também de toleitos a andesitos basálticos em termos geoquímicos e mostram um enriquecimento geral de elementos terras-raras, com discretas anomalias negativas de Eu.

O terceiro enxame, E3, com corpos de direção NNW, mostra sua evolução relacionada ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas (ZCT), ou seja, seus diques intrudiram sintectonicamente nas porções transtensionais das mesmas. Após a consolidação magmática, foram metamorfisados em função da continuidade dos movimentos horizontais ao longo das ZCT. Essa deformação teria originado texturas metamórficas blasto-subofíticas a granoblásticas/nematoblásticas e as “sheared margins” observadas na maioria dos diques E3. Alguns poucos diques se preservaram do metamorfismo, guardando a textura ígnea subofítica, e foram datados pelo método Rb-Sr em 2189 ± 45 Ma (razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,702027, indicando fonte mantélica, e MSWD = 0,96), idade que marca o início da fase orogenética transamazônica regional.

Os diques deste enxame cortam tanto gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, como também as litologias do Supergrupo Rio das Velhas. Constituem discretos lineamentos ao longo de centenas de metros a poucas dezenas de quilômetros e têm larguras que vão de 2m a cerca de 80m, com média de 30m. São certamente cortados por diques E4 e E5, mais recentes, em vários locais.

A respeito da mobilidade de elementos químicos em processos metamórfico-hidrotermais, ficou evidenciado, com base em diagramas MPR, que houve mobilização parcial somente de K e Na durante os processos metamórficos que atingiram os E3. Geoquimicamente, são basaltos toleíticos com Mg# entre 35-55, ligeiramente mais evoluídos que os enxames E1 e E2 em termos do fracionamento magmático. Mostram altas razões Zr/Nb e baixas razões Zr/Y em comparação

aos demais enxames da área investigada e discreto fracionamento de terras-raras, com a menor razão $(La/Yb)_N$ dentre todos os enxames (entre 1,06-3,48). Como os diques E1 e E2, apresentam anomalias negativas de Eu. Quanto às características isotópicas da fonte dos E3, aparentemente isenta de processos de assimilação crustal, é enriquecida nas razões Rb/Sr e Sm/Nd em relação à “Terra Global”. Os valores de ϵ_{Nd} (2,2 Ga) variam de -0,5 a -1,0 e os de T_{DM} encontram-se entre 2,65 e 3,08 Ga.

O mais expressivo enxame em termos de dimensões e número de diques é o E4. Com direções N50-60W, são lineamentos que se destacam em imagens de satélite e mapas aeromagnéticos. Alguns diques alcançam 150 Km de comprimento em afloramento e se prolongam por sob a cobertura Bambuí. Cortam gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, as litologias dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas e os diques dos enxames E1, E2 e E3. O material dos diques tem feições de diabásios, haja visto que os mais largos (até 100m) apresentam-se faneríticos, com cristais de plagioclásio e augita visíveis, de até 5 mm, sendo os de granulação mais grossa dentre os enxames investigados. Alguns corpos são porfíricos, com fenocristais de plagioclásio de até 15 cm na maior dimensão e outros guardam diferenciados félsicos em seu interior. A textura ígnea predominante é a subofítica.

Sua intrusão parece ter havido por fraturamento magmático causado por uma possível pluma mantélica situada à noroeste do setor sul do Cráton, um fenômeno geológico que permite explicar o fluxo magmático horizontal de NW para SE, registrado por feições de contato com a encaixante, orientação dos fenocristais de plagioclásio na mesma direção dos diques e dados preliminares de anisotropia da susceptibilidade magnética. É sabido que o movimento do magma numa pluma é para cima até atingir a base da litosfera, rompendo-a no momento em que ele se esparrama lateralmente por sob a mesma - “upward and outward movement” em Westaway (1993). Cabe ressaltar a inexistência de zonas de fraqueza pré-existentes de direções N50-60W, correspondentes às direções dos diques E4.

Diques máficos relacionados com plumas mantélicas exibem uma grande uniformidade química por dezenas, centenas e até milhares de quilômetros (LeCheminant & Heaman, 1989), como os E4, os quais constituem-se basicamente de andesitos basálticos (raros diques mostram tendência alcalina). Com relação à norma CIPW, são quartzo-toleitos como os demais enxames. Os valores de $Mg\#$ situam-se entre 25 e 55, apontando magmas bastante evoluídos, e mostram

fracionamento de elementos terras-raras, com as mais pronunciadas anomalias negativas de Eu ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0,64\text{-}0,85$) dentre os enxames.

Os E4 foram datados pelo método Rb-Sr em 1740 ± 54 Ma (1σ), com razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de $0,70562 \pm 0,00092$ ($\text{MSWD} = 1,3$). Esse valor corrobora com a idade de 1714 ± 5 Ma encontrada por Silva et al. (1995) pelo método U-Pb para rocha similar dentro da área investigada e marca localmente a ampla Tafrogênese Estateriana responsável pela fissão da massa continental paleoproterozóica pré-existente, designada Atlântica. O elevado valor da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ é atribuído a processos de assimilação crustal sofridos pelos E4. Sua fonte é enriquecida nas razões Rb/Sr e levemente empobrecida na razão Sm/Nd em relação à “Terra Global”. Os valores de $\epsilon_{\text{Nd}}(1,7 \text{ Ga})$ levemente negativos, entre $-0,2$ e $-2,5$, parecem indicar que o magma gerador dos E4 sofreu algum grau de residência crustal e, sendo eles próximos a zero, apontariam para uma fonte pouco diferenciada, ou seja, a referida pluma (Wasserburg & De Paolo, 1979; Ernst et al., 1995). Seu T_{DM} encontra-se entre 2,13 e 2,58 Ga.

Outra geração de diques proterozóicos, porém de direções N60-70E, cruza a porção sul do Cráton do São Francisco, alguns com mais de 100 Km de extensão. Pertencem ao enxame E5 e cruzam gnaisses-migmatíticos e granitóides dos Complexos Belo Horizonte, Campo Belo e Bonfim, as litologias dos Supergrupos Rio das Velhas e Minas e os diques dos enxames E2, E3 e E4. Preservam a textura ígnea do tipo ofítica a intergranular numa granulação média a fina. Tipos porfiríticos, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm, em menor abundância, são também encontrados.

Amostras isotopicamente similares, oriundas dos E5 e da região adjacente do Espinhaço Meridional (NE da área investigada), produziram uma isócrona Sm-Nd de 984 ± 110 Ma (razão inicial $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de 0,511355, típica de fonte mantélica, e $\text{MSWD} = 1,8$). A ocorrência de diques e sills de 906 ± 2 Ma (U-Pb, Machado et al., 1989) no Espinhaço Meridional reforça a idéia de que eles sejam cogenéticos aos E5, sendo todos eles marcadores locais da Tafrogênese Toniana, que registra a quebra do supercontinente Mesoproterozóico pré-existente, denominado Rodínia. Os E5 teriam irradiado para SW na área investigada a partir de pluma mantélica, proposta por Correa-Gomes & Oliveira (1997) na interfície Brasil-África, há 1,0 Ga.

Geoquimicamente, os E5 correspondem a basaltos toleíticos ($\text{Mg\#}$ entre 35 e 45) e mostram as maiores razões Zr/Y e os maiores índices de fracionamento de elementos terras-raras $[(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}]$

= 9,93-15,59] dentre todos os enxames. É o único com anomalias positivas de Eu, fato observável também nos diques neoproterozóicos do Espinhaço Meridional. Isotopicamente, sua fonte é enriquecida nas razões Rb/Sr e levemente empobrecida na razão Sm/Nd em relação à “Terra Global”. Os valores de $\epsilon_{Nd}(0,9 \text{ Ga})$ levemente negativos, entre -0,3 e -1,0, parecem indicar que o magma gerador dos E5 sofreu algum grau de residência crustal e, sendo eles próximos a zero, apontariam para uma fonte - pluma - quase condrítica (Wasserburg & De Paolo, 1979; Ernst et al., 1995). Idades modelo (T_{DM}) para os E5 estão entre 1,44 e 1,62 Ga. Quanto às relações de campo entre os diques E5 e as litologias do Grupo Bambuí, é constatado que esse último não é cortado pelos primeiros, o que limita a sua deposição por volta de ~0,9-1,0 Ga.

O “enxame” mais recente (E6) está representado por dois diques, com direções aproximadas E-W e largura máxima de 10 metros, cuja rocha tem granulação muito fina, quase vítrea, e coloração negra. Eles são inferidos como mesozóicos por se apresentarem quimicamente semelhantes a diques do Espinhaço Meridional e região de Lavras, datados em 120-220 Ma (Dussin, 1994; Silva et al., 1995; Pinese, 1997). São andesitos com Mg# entre 20-30, os mais evoluídos dentre os enxames estudados, de acordo com este parâmetro. Mostram um maior fracionamento das terras-raras leves (ETRL) em relação às pesadas (ETRP), com pronunciadas anomalias negativas de Eu.

Os enxames derivam de fontes mantélicas distintas, dadas as marcantes diferenças das razões Zr/Nb, Zr/Y, Zr/Sr, (La/Yb)_N e Eu/Eu* de seus diques e dos já referidos parâmetros petrológicos dos isótopos de Sr e Nd.

VIII.2 – Considerações Finais

Enfim, uma vez que nessa porção sul-cratônica de dimensões limitadas, não coberta pelos sedimentos do Grupo Bambuí, ficaram privilegiadamente registrados 6 eventos de magmatismo básico intraplaca na forma de enxames de diques posicionados desde o Arqueano, torna-se possível remontar a história geológica regional. Juntamente com as demais informações geológico-geocronológicas disponíveis na literatura para os tipos litológicos aflorantes na área investigada e adjacências, é possível estabelecer sucintamente um panorama evolutivo regional, apresentado no quadro VII.1 a seguir.

Quadro VIII.1: Evolução geológica do setor sul do Cráton do São Francisco e adjacências e o papel desempenhado pelos enxames de diques máficos nessa evolução, com base nos dados dessa Tese e da literatura.

3500-2800 Ma	Geração de crosta continental, composta essencialmente por gnaisses tipo TTG, granulitos e anfibolitos. Colocação do <i>greenstone belt</i> de Piumhi.
2800-2500 Ma	Formação do <i>Greenstone Belt</i> Rio das Velhas e granitogênese associada (Evento Rio das Velhas). Aglutinação dos Complexos metamórficos Campo Belo, Belo Horizonte e Bonfim. Colocação do ENXAME 1 - E1 (2,65 Ga) , provavelmente associado às fases finais do Evento Rio das Velhas.
2500-2200 Ma	Evento extensivo com fragmentação da crosta continental arqueana, provavelmente marcado pela intrusão do ENXAME 2 – E2 (inferidos a ~2,5 Ga) . Deposição dos sedimentos basais (Grupos Caraça e Itabira) do Supergrupo Minas, incluindo BIF's.
2200-1800 Ma	Desenvolvimento do Orógeno Transamazônico. Formação de zonas de cisalhamento transcorrentes (ZCT) no interior do Cráton (em definição), em cujas porções transtensionais intrude o ENXAME 3 – E3 (2,2 Ga) . Na evolução transamazônica das ZCT, há a deformação dos E3. Pico da deformação: ~ 2,05 Ga. Granitogênese (ex. Batólito Alto Maranhão). Sedimentação tectogênica da Formação (Grupo?) Sabará, topo do Supergrupo Minas, em bacias <i>foreland</i> . Aglutinação de terrenos continentais.
1800-1000 Ma	Fragmentação da massa continental paleoproterozóica pré-existente (Atlântica), marcada pelo episódio extensivo – tafrogênese Estateriana – registrado regionalmente pelo expressivo ENXAME 4 – E4 (1,7 Ga) , de origem certamente relacionada a uma pluma mantélica. Abertura de bacias e deposição dos sedimentos do Grupo Araí e outros, à noroeste e norte do Cráton, e Supergrupos Espinhaço e Mayombe (equivalente africano), à leste do Cráton. Granitogênese associada (ex. Granitos Borrachudos e vulcanismos riolíticos). Segue-se uma fase oceânica adjacente e, no fechamento ao final da fase (orogenia Uruaçuana?), aglutinam-se terrenos continentais, culminando no surgimento do supercontinente Rodínia.

1000-500 Ma	<p>Evento extensional - tafrogênese Toniana - com a fragmentação do supercontinente Rodínia, localmente registrada pela colocação do ENXAME 5 – E5 (0,9 Ga), também em provável associação ao desenvolvimento de uma pluma mantélica. Reativação das zonas de cisalhamento transcorrente transamazônicas como falhas rúpteis. Abertura de bacias e deposição dos sedimentos dos Grupos Macaúbas e Salinas à leste, contemporaneamente à Glaciação Macaúbas, e Araxá à oeste do Cráton, com evidências de abertura oceânica em ambos os setores. Sedimentação, em mar epicontinental, do Grupo Bambuí e West-Congo (equivalente africano). Por volta de 0,6 Ga delineia-se a orogenia Brasiliana, com movimentos de massas em direção ao Cráton (faixas móveis Brasília, à oeste, Alto Rio Grande, à sul, e Araçuaí, à leste). Estabelecimento do Supercontinente Gondwana, estando a área estudada na sua porção oeste.</p>
500-100 Ma	<p>Por volta de 200 Ma há o início da quebra do Gondwana e abertura do oceano Atlântico. No interior cratônico e adjacências, esta fase extensiva infere-se pelo posicionamento do ENXAME 6 – E6 (~0,2-0,1 Ga). Do sul do Brasil ao Estado do Mato Grosso e Triângulo Mineiro, essa extensão é marcada pelo derrame basáltico da Bacia do Paraná.</p>
100-0 Ma	<p>Sedimentação cenozóica.</p>

BIBLIOGRAFIA

- ALKMIM, F.F.; BRITO NEVES, B.B.; CASTRO ALVES, J.A. (1993) Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – uma revisão. In: Dominguez, J.M.L. & Misi, A. (eds). O Cráton do São Francisco. Salvador, SBG-SGM-CNPq. p.45-62.
- ALKMIM, F.F.; JORDT EVANGELISTA, H.; MARSHAK, S.; BRUECKNER, H. (1994) Manifestações do evento transamazônico no Quadrilátero Ferrífero. In: XXXVIII Cong. Bras. Geol., Camboriú, Bol. Res. Exp., Vol. 1: 75-76.
- ALMEIDA, F.F.M. (1977) O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7(4): 349-364.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A (1981) Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.*, 17: 1-29.
- ALMEIDA, F.F.M. (1986) Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, 16(4): 325-349.
- BABINSKI, M. (1993) Idades isocrônicas Pb-Pb e geoquímica isotópica de Pb das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, na porção sul da bacia do São Francisco. São Paulo, 133p. (Tese de Doutorado, IPEN-USP).
- BABINSKI, M.; CHEMALE Jr., F.; VAN SCHMUS, W.R. (1995) The Pb-Pb age of the Minas Supergroup carbonate rocks, Quadrilátero ferrífero, Brazil. *Precambrian Res.*, 72:235-245.
- BAER, G. & HEIMANN, A. (1995) Physics and chemistry of dykes. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 339p.
- BASTOS LEAL, L.R.; TEIXEIRA, W.; PICCIRILLO, E.M.; MENEZES LEAL, A B.; GIRARDI, V.A.V. (1994) Geocronologia Rb/Sr e K-Ar do enxame de diques máficos de Uauá, Bahia (Brasil). *Geochim. Brasil.*, 8: 99-114.
- BELLIENI, G.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; CAVAZZINI, G.; CIVETTA, L; COMIM CHIARAMONTI, P.; MELFI, A J.; BERTOLO, S.; DE MIN, A (1991) Proterozoic mafic dyke swarms of the São Francisco Craton (SE-Bahia State, Brazil): petrology and Sr-Nd isotopes. *Eur. J. Mineral.*, 3: 429-449.
- BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E.M.; PETRINI, R.; GIRARDI, V.A.V.; MENEZES LEAL, A B.; TEIXEIRA, W.; BASTOS LEAL, L.R.; DE MIN, A ; COMIM CHIARAMONTI, P.; TANNER DE OLIVEIRA, M.A F. (1995) Petrological and Sr-Nd evidence bearing on Early Proterozoic magmatic events of the subcontinental mantle: São Francisco Craton (Uauá, NE-Brazil). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122: 252-261.
- BESWICK, A E. (1982) Some geochemical aspects of alteration and genetic relations in komatiitic suites. In: Komatiites, Arndt & Nesbitt (eds), London, George Allen and Unwin: 283-308.
- BHATTACHARJI, S. & SMITH, C.H. (1964) Flowage differentiation. *Science* 145: 150-153.

- BIONDI, J.C.; SCHRANK, A; PINHEIRO, J.C.F. (1978) Basitos e ultrabasitos do Espinhaço Meridional e região sul de Minas Gerais. In: Anais do XXX Cong. Bras. Geol., Recife, v.3:1213-1225.
- BOYNTON, W.V. (1984) Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson (ed) Rare earth element geochemistry. Elsevier Publ. Co., Amsterdam. p.63-114.
- BRIQUET, L. & LANCELOT, J.R. (1979) Rb-Sr systematics and crustal contamination models for calc-alkaline igneous rocks. Earth Planet. Sci. Lett. 43: 385-396.
- BRITO NEVES, B.B.; KAWASHITA, K.; DELHAL, J. (1979) A evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço: dados novos e integração. Rev. Bras. Geoc., 9 (1): 71-85.
- BRITO NEVES, B.B. (1992) O Proterozóico Médio no Brasil: Ensaio do conhecimento e seus problemas. Rev. Bras. Geoc., 22 (4): 449-461.
- BRITO NEVES, B.B. (1993) De Rodínia a Gondwana. São Francisco/Congo: placa, continente/península, cráton e antepaís. In: Anais do II Simp. Cráton São Francisco, Salvador, 3-5.
- BRITO NEVES, B.B.; VAN SCHMUS, W.R.; BABINSKI, M.; SABIN, T. (1993) O evento de magmatismo de 1,0 Ga nas faixas móveis ao norte do Cráton do São Francisco. In: Anais do II Simp. Cráton São Francisco. Salvador, p. 243-245.
- BRITO NEVES, B.B. (1999) América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrecionário Andino. Rev. Bras. Geoc. 29(3): 379-392.
- CADMAN, A.; TARNEY, J.; PARK, R.G. (1990) Intrusion and crystallization features in proterozoic dyke swarms. In: Parker, Rickwood & Tucker (eds), Mafic dykes and emplacement mechanisms. A. A. Balkema, Rotterdam, pp. 13-24.
- CANN, J.R (1970) Rb, Sr, Y, Zr and Nb in some ocean floor basaltic rocks. Earth Plan. Sci. Lett., 10, 7-11.
- CARNEIRO, M.A. (1992) O Complexo Metamórfico Bonfim setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. IG-USP, 235p. (Tese de Doutorado).
- CARNEIRO, M.A. & TEIXEIRA, W (1993) Geoquímica e geocronologia dos diques máficos pré-cambrianos do Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional, região meridional do Cráton do São Francisco, Brasil. In: II Cong. Geol. Países Ling. Portuguesa. Noronha, Marques e Nogueira (eds). p.15-19.
- CARNEIRO, M. A.; NOCE, C.M; TEIXEIRA, W. (1995) Evolução policíclica do Quadrilátero Ferrífero: uma análise fundamentada no conhecimento atual da geocronologia U-Pb e e geoquímica isotópica Sm-Nd. Rev. Esc. Minas, Ouro Preto: 48(4): 264-273.

- CARNEIRO, M. A.; NALINI, Jr, H.A; BILAL, E.; CARVALHO Jr., I.M.; TEIXEIRA, W.; MOUTTE, J. (1997) A sequência acamadada de Ribeirão dos Motas, M.G., Brasil. In: Actas X Semana de Geoquímica / IV Cong. Geoq. Países Língua Port., Braga , Portugal, 31-33.
- CHAVES, A.O. (1996) Enxames de diques máficos proterozóicos da porção meridional do Cráton do São Francisco (MG, Brasil). Dissertação de Mestrado - IGC-UFMG. 102 p.
- CHEMALE Jr, F., BABINSKY, M.; VAN SCHMUS, W.R. (1993) U/Pb dating of granitic-gneissic rocks from the Belo Horizonte and Bonfim Complexes, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. Report for CNPq and NSF-EAR Project on São Francisco Cráton Margin Transect Project, 16p.
- CHEMALE Jr, F.; ROSIERE, C.A.; ENDO, I. (1994) The tectonic evolution of Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. *Precambrian. Res.*, 65: 25-54.
- CONDIE, K.C. (1985) Secular variation in the composition of basalts: an index to mantle evolution. *J. Petrology*, 26(3): 545-563.
- CONDIE, K.C. (1989) Plate tectonics and crustal evolution. 3rd. edition, Oxford, Pergamon press, 476p.
- CORDANI, U.G. & BRITO NEVES, B.B. (1982) The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.*, 12:78-88.
- CORDANI, U.G.; TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K.; SATO, K (1988) The growth of the Brazilian Shield. *Episodes*, 11(3): 163-167.
- CORREA GOMES, L.C; TANNER DE OLIVEIRA, M.A .F.; LEAL, L.R.B. (1988) Feições estruturais dos diques máficos – relações entre o magmatismo fissural e as condições reológicas do meio. In: *Anais do XXXV Cong. Bras. Geol.*, Belém, V.5: 2217-2226.
- CORREA GOMES, L.C & OLIVEIRA, E.P. (1997) O enxame radial gigante de diques máficos da província Bahia-Congo. Implicações reológicas e tectônicas da presença de uma pluma mantélica na interfície América do Sul-África, 1,0 Ga atrás. In: VI Simp. Nac. Estudos Tectônicos, Pirenópolis/GO, p.52-55.
- D'AGRELLA FILHO, M. S.; PACCA, I.G.; RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; TEIXEIRA, W. (1990) Paleomagnetism of Middle Proterozoic (1,01 to 1,08 Ga) mafic dykes in southeastern Bahia State-São Francisco Craton, Brazil. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 101: 332-348.
- D'AGRELLA FILHO, M.S. & PACCA, I.G. (1991) Paleomagnetism of the Pará de Minas mafic dyke swarm, west of Belo Horizonte, MG, Brazil. In: *Bol. IG-USP, Publ. Esp.*, 10: 55- 58.
- D'AGRELLA-FILHO, M.S. & PACCA, I.G. (1993) Paleomagnetism of middle-late proterozoic mafic dyke swarms from the São Francisco Cráton: tectonic implications. In: II Simp. Cráton S. Francisco. *Anais*: 146-148.
- DARDENNE, M.A. (1978) Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: XXX Cong. Bras. Geol., Recife, *Anais*, Vol. 2: 597-610.

- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, G. (1981) *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 559p.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, P.; GRANDCLAUDE, P.; MARCHAL, M. (1980) A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major elements analysis. *Chem. Geol.*, 28: 183-210.
- DICKIN, A. P. (1995) *Radiogenic Isotope Geology*. Cambridge Univ. Press. 452 p.
- DOOR II, J.V.N. (1969) Physiographic, stratigraphic and structural development of Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. In: U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 641(4): 1-110.
- DUSSIN, T.M (1994) *Associations volcano-plutoniques de l'Espinhaço Meridional (SE-Bresil)*. Univ. D'Orleans, França. 177p. (Tese de Doutorado).
- EMERMAN, S.H. & MARRETT, R. (1990) Why dykes? *Geology*, 18:231-233.
- ERNST, R.E. (1990) Magma flow directions in two mafic proterozoic dyke swarms of the Canadian Shield: as estimated using anisotropy of magnetic susceptibility data. In: *Mafic Dykes and emplacement mechanisms*. Parker, Rickwood & Tucker (eds) A.A. Balkema, Rotterdam.
- ERNST, R.E.; HEAD, J.W.; PARFITT, E.; GROSFILS, E.; WILSON, L. (1995) Giant radiating dyke swarms on Earth and Venus. *Earth Sci. Rev.*, 39: 1-58.
- ESCHER, A., ESCHER, J., WATTERSON, J. (1975) The reorientation of the Kangamiut dyke swarm, west Greenland. *Canadian Jour. Earth Sci.*, V.12: 158-173.
- FAHRIG, W.F. (1987) The tectonic setting of continental mafic dyke swarms: failed arm and early passive margin. In: Halls & Fahrig (eds), *Mafic Dyke Swarms*. Geol. Assoc. Can., Spc. Paper., 34: 331-348.
- FAURE, G. (1986) *Principles of Isotope Geology*. New York, John Wiley & Sons, 589p.
- FIELD, D & ELLIOT, R.B. (1974) The chemistry of gabbro/amphibolite transitions in South Norway. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 47:63-76.
- FRITZONS Jr., O.; BIONDI, J.C.; CHABAN, N. (1980) Geologia da região de Piumhi (MG). In: *Anais XXXI Cong. Bras. Geol.*, Camboriú, 5: 2906-2917.
- FUCK, R.A.; PIMENTEL, M.M.; DEL REY SILVA, L.J.H. (1994) Compartimentação tectônica na porção oriental da Província Tocantins. In: *XXXVIII Cong. Bras. Geol.*, Bol. Res. Exp., Vol. 1: 215-216.
- GELINAS, L.; MELLINGER, M.; TRUDEL, P (1982) Archean mafic metavolcanics from the Royn-Noranda district, Abitibi greenstone belt. Quebec 1. Mobility of major elements. *Can. J. earth Sci.*, 19: 2258-2275.

- HALL, R.P. & HUGHES, D.J. editors (1990) Early precambrian basic magmatism. Blackie, Glasgow, 412p.
- HALLS, H.C. (1982) The importance and potencial of mafic dyke swarms in studies of geodynamic processes. *Geoscience Canada*, 9(3): 145-154.
- HALLS, H.C. (1987) Dyke swarms and continental rifting: some concluding remarks. In: Halls, H.C. & Fahrig, W.F. (eds), *Mafic Dyke Swarms*. Geol. Assoc. Can., Spc. Paper., 34: 483-492.
- HALLS, H.C. & FAHRIG, W.F., eds (1987). *Mafic Dyke Swarms*. Geol. Assoc. Can., Spc. Paper., 34, 503p.
- HASUI, Y. & COSTA, J.B.S. (1988) Curso de zonas e cinturões de cisalhamento. In: XXXV Cong. Bras. Geol., Belém, 86 páginas.
- HAWKESWORTH, C.J. & VAN CALSTEREN, P.W.C (1984) Radiogenic Isotopes – some geological applications. In: *Rare earth element geochemistry*. Henderson, P. (ed). Elsevier, Amsterdam: 375-421.
- HEAMAN, L. (1991) U-Pb dating of giant radiating dyke swarms: potential for global correlation of mafic magmatic events. In: *Int. Symp. Mafic Dykes*, São Paulo, Extended Abstracts, 7-9.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALYI, N.E.; BRANCO, P.C.A.; RAMALHO, R. (1984) O Cráton do São Francisco e a faixa de dobramentos Araçuaí. In: *Geologia do Brasil. Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais*. DNPM/MME, Brasília, p. 193-248.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - Cartas topográficas - escala 1:100.000, Folhas Formiga, Divinópolis, Pará de Minas, Belo Horizonte. Rio de Janeiro, 1986.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8: 523-548.
- JULIANI, C. & McREATH, I. (1992) Petroquímica de metabasitos: metodologia para identificação de alterações magmáticas e pós-magmáticas. In: *CEPEGE-IG/USP*, Vol.10: 50-96.
- KARFUNKEL, J. & NOCE, C. M.(1982) Os diques clásticos de Dores do Campo, M.G. In: XXXII Cong. Bras. Geologia, Salvador, Resumos e breves comunicações.
- KAWASHITA, K (1996) Carbonatos neoproterozóicos da América do Sul: idades e inferências químico-estratigráficas. São Paulo, 126p. (Tese de Livre Docência, IG-USP).
- LADEIRA, E.A. (1980) Metallogenesis of Gold at the Morro Velho Mine and in Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil. University of Western Ontario, 272p. Ph. D. Thesis

- LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. (1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, 27: 745-750.
- LeCHEMINANT, A.N. & HEAMAN, L.M. (1989) Mackenzie igneous events, Canada: Middle Proterozoic hot-spot magmatism associated with ocean opening. *Earth Plan Sci. Letters*, 96: 38-48.
- MACHADO, N. & SCHRANK, A. (1989) Geocronologia U-Pb no maciço de Piumhi - resultados preliminares. In: *Anais V Simp. Geol. MG, Belo Horizonte*, p.45-49.
- 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: *Ann. V Simp. Geol. MG e I Simp. Geol. Brasília. Soc. Bras. Geol., MG*, 10: 171-174.
- MACHADO, N. & CARNEIRO, M.A. (1992) U-Pb evidence of late archean tectonothermal activity in the southern São Francisco Shield, Brazil. *Can. J. Earth Sci.*, 29:2341-2346.
- MACHADO, N.; NOCE, C.M.; LADEIRA, E.A.; BELO DE OLIVEIRA, O. (1992) U-Pb geochronology of archean magmatism and proterozoic metamorphism in Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Cráton, Brazil. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 104: 1221-1227
- MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C.M.; GAUTHIER, G. (1996) Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 141:259-276.
- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALES, S.P.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; PALMEIRA, R.C.B.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. (1984) Geologia. In: *Projeto RADAMBRASIL. Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. DNPM/MME/SG*, p.27-304 (*Lev. Rec. Natur.*, 32).
- MARTINS-NETO, M.A. (1998) Mantle-plume, rifting and the early neoproterozoic glaciation in the São Francisco Craton and Araçuaí Fold Belt, southeastern Brazil. In: *14^a International Conference on Basement Tectonics, Ouro Preto, Brasil*: 32-34.
- MENEZES FILHO, N.R. (1977) Projeto Três Marias. Relatório Final, Belo Horizonte, DNPM/CPRM, 6 vol. (Rel. do arquivo téc. da DGM, 2703), v. 1-2
- MONTEIRO, A. C. & SINCLAIR, R. (1996) Mapa de sombra aeromagnético do Brasil (campo total reduzido do IGRF). *Comp. Pesq. Rec. Min. (CPRM)*.
- MORAES-BRITO, C.; BELLINI, G.; COMIM CHIARAMONTI, P.; FIGUEIREDO, A. M.; MARQUES, L.S.; MELFI, A. J.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; (1993) Diques máficos não-metamorfisados proterozóicos da região de Salvador-BA: geoquímica, petrologia e isótopos de Sr-Nd. In: *Anais II Simp. do Cráton São Francisco*, p.119-123.

- MOTOKI, A. & VARGAS, T. (1990) Fraturamento magmático: o verdadeiro mecanismo de intrusão de diques e sills na crosta superior. In: XXXVI Cong. Bras. Geol., Bol. Resumos, Natal: 348.
- MOTOKI, A. & VARGAS, T. (1994) Até que ponto as zonas de fraqueza crustais são essenciais ao magmatismo continental? In: XXXVIII Cong. Bras. Geol., Camboriú, Bol. Res. Exp., Vol. 3: 16-17.
- NOCE, C.M. (1995) Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, MG. 128p. (Tese de Doutorado, IG-USP).
- OLIVEIRA, E.P. & MONTES, M.L. (1984) Os enxames de diques máficos do Brasil. In: XXXIII Cong. Bras. Geol., Rio de Janeiro, Anais 9: 4137-4154.
- PANDEY, B.K.; GUPTA, J.N.; SARMA, K.J.; SASTRY, C.A. (1997) Sm-Nd, Pb-Pb and Rb-Sr geochronology and petrogenesis of the mafic dyke swarm of Mahbubnagar, South India: implications for Paleoproterozoic crustal evolution of the Eastern Dharwar Craton. *Precambrian Res.*, 84:181-196.
- PARENTI COUTO, J. G.; TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G. (1983) Considerações sobre as principais épocas de fraturamento do Cráton de São Francisco com base em datações K-Ar em rochas básicas. In: 2o. Simp. Geol. M.G., Anais, Bol. 3: 38-49.
- PARK, R.G. & TARNEY, J. eds. (1987) Evolution of the Lewisian Complex and comparable precambrian high grade terrains. *Geol. Soc. London, Special Public.* 27: 315p.
- PARKER, A.J.; RICKWOOD, P.C.; TUCKER, D.H. eds (1990) Mafic dykes and emplacement mechanisms. A.A. Balkema Publ., Rotterdam, 541p.
- PEARCE, T.H. (1968) A contribution to the theory of variation diagrams. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 19:142-157.
- PEARCE, J.A & NORRY, M.J. (1979) Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69: 33-47.
- PEDROSA-SOARES, A C. (1995) Evidências da terminação setentrional do Oceano Adamastor (Neoproterozóico) no sudeste brasileiro. In: 6º Simp. Geol. Sul-Brasileiro e 1º Encontro Geologia Cone-Sul. Texto da palestra proferida, 13p.
- PEREIRA, A.D.C., FONSECA, E.G., BRAZ, E.R.C., CARMO, U.F., ORTIZ, L.R.C., SOUZA Jr., J.J., OLIVEIRA, F.C., FREIRE, F.A., MARQUES, N.M.G., REIS, V.A., SIGA Jr, O. (1984) Geologia. In: MME/SG - PROJETO RADAM BRASIL. Folha SE 23, Belo Horizonte. Rio de Janeiro (Lev. de Rec. Natur., 38).
- PINESE, J.P.P (1997) Geologia, geoquímica isotópica e aspectos petrológicos dos diques máficos pré-cambrianos da região de Lavras (MG), porção sul do Cráton do São Francisco. São Paulo, 178p. (Tese de Doutorado).
- PLATTEN, I.M. & WATTERSON, J. (1987) Magma flow and crystallisation in dyke fissures. In: Halls & Fahrig (eds) Mafic Dyke Swarms, *Geol. Assoc. Canada, Spc. Paper*, 34: 65-73.

- PLUMB, K.A. (1991) New Precambrian time scale. *Episodes* 14(2): 139-140.
- QUEMENEUR, J.J.G e VIDAL, P. (1989) Primeiras datações radiométricas dos granitos da região de São João Del Rey, MG. In: *Anais V Simp. Geol. MG, Belo Horizonte*. p. 50-54.
- RENGER, F.E.; NOCE, C.M.; ROMANO, A.W.; MACHADO, N.(1994) Evolução sedimentar do Supergrupo Minas (500 Ma de registro geológico), Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, (2):1-11.
- RENNE, P.R.; ONSTOTT, T.C.; D'AGRELLA FILHO, M.S.; PACCA, I.G. (1990) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of 1,0-1,1 Ga magnetizations from the São Francisco and Kaapvaal Cratons: tectonic implications for Pan-Africano and Brasileiro mobile belts. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 101: 349-366.
- RICHTER, P.; LACERDA, G.M.; HAGEN, D.; BOSUM, W.; PAULSEN, S.; SOUZA, A.A.; BRUNO, E.M.; GOMES, N.S.; MOLLAT, H.; BARTHEL, F.; GLATTE, W.; SAAM, H.; ZIMMERMANN, K.; KOSSMEHL, H. (1975) Relatório de reconhecimento geológico-geoquímico Pitangui-Papagaios-Pequi, MG. Convênio Geofísico Brasil /Alemanha, CPRM/BH/DMP, 2420. 60p.
- ROLLINSON, H. (1993) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical., Nova York, 352p.
- ROMANO, A.W. (1989) Evolution tectonique de la region nord-ouest du Quadrilatre Ferrifere, MG, Bresil. Univ. Nancy - França (Tese de Doutorado).
- SCHORSCHER, H. D. (1992) Arcabouço petrográfico e evolução crustal de terrenos pré-cambrianos do NE de Minas Gerais: Quadrilátero Ferrífero, Espinhaço Meridional e domínios granito-gnáissicos adjacentes. São Paulo, 394p (Tese de Livre Docência – IG – USP).
- SILVA, A.M.; CHEMALE JR., F.; KUYUMJIAN, R.M., HEAMAN, L. (1995) Mafic dyke swarms of Quadrilátero Ferrífero and Southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Bras. Geociências*, 25(2): 124-137.
- STEIGER, R.H. & JÄGER, E. (1977) Subcomission on Geochronology: Convention on the use of decay constants in geochronology and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36:359-362.
- SUN, S. & McDONOUGH, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and process. In: *Magmatism in the ocean basins*, Saunders & Norry (eds). Blackwell, Geol. Soc. Spec. Publ., 42: 313-345.
- TARNEY, J. (1992) Geochemistry and significance of mafic dyke swarms in the proterozoic. In: *Proterozoic crustal evolution*. Condie, K.C. (ed). Development in precambrian geology, 10. Elsevier, 151-179.

- TEIXEIRA, W. (1985) A evolução geotectônica da porção meridional do Cráton do São Francisco, com base em interpretações geocronológicas. IG-USP, 206p. (Tese de Doutorado).
- TEIXEIRA, W.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; TAYLOR, P.N.; VAN SCHMUS, R. (1987) Archaean and early proterozoic crustal evolution in the southern part of the São Francisco Craton. In: Int. Symp. Granites and Assoc. Mineralizations, Salvador. Ext. Abstr., p. 37-40.
- TEIXEIRA, W., KAWASHITA, K., PECCHIO, M., TAME, N.R. (1988) Geocronologia K-Ar do enxame de diques básicos da parte meridional do Cráton do São Francisco e implicações no contexto geotectônico. In: XXXV Cong. Bras. Geol., Anais, Belém, V. 6: 2870-2886.
- TEIXEIRA, W. (1996) Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in southern São Francisco Craton, Brazil. *Prec. Research.*, 78: 151-164.
- THOMPSON, R. N. (1984) Dispatches from the basalt front. 1. Experiments. *Proc. Geol. Ass.*, 95: 249-262
- TROMPETTE, R. (1994) Geology of western Gondwana (2000-500Ma) PanAfricano-Brasiliano aggregation of South America and Africa. A.A. Balkema Publ. Rotterdam. 362p.
- WASSERBURG, G.J. & DE PAOLO, D.J. (1979) Models of earth structure inferred from neodymium and strontium isotopic abundances. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 76: 3594-3598.
- WESTAWAY, R. (1993) Forces associated with mantle plumes. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 119: 331-348.
- WHITE, R.S. & MCKENZIE, D.P. (1989) Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal Geophys. Res.*, 94:7685-7730.
- WILSON, B.C., DIXON, J.M., HELMSTAEDT, H. (1985) Dyke intrusion in shear fractures: Stress orientation and depth of emplacement. Intern. Confer. on Mafic Dyke Swarms, Univ. Toronto, Toronto, Ont., Canada, Abstracts: 186-188.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1976) Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 28: 459-469.
- WINCHESTER, J.A. (1984) The geochemistry of Strathconon amphibolites, Northern Scotland. *Scottish Journal of Geology*, 20: 37-51.
- WINKLER, H.G.F. (1976) *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag. Nova York, 4th ed., 334p.
- YARDLEY, B.W.D. (1989) *Introdução à Petrologia Metamórfica*. EDUNB. 340p.
- YODER, H.S. & TILLEY, C.E. (1962) Origin of basaltic magmas: an experimental study of natural and synthetic rocks systems. *J. Petrol.*, 3: 342 -532.

ANEXO I

Análises químicas em rocha total (elementos maiores, traços e terras-raras) e resultados da Norma CIPW

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilitado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	101	110	112	119	120	123	126	130	135	138	145
Enxame	E4A	E4A	E4A	E3	E2	E4B	E4B	E3	E4A	E3	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	49,19	54,78	54,11	48,67	49,39	44,69	45,24	50,16	51,52	50,22	50,47
TiO ₂	2,28	2,77	2,88	1,21	2,02	4,29	3,64	1,91	2,60	1,13	1,27
Al ₂ O ₃	15,31	12,68	14,03	17,66	14,62	15,20	15,13	13,07	13,54	14,10	13,84
FeO _T	15,94	15,81	16,05	13,42	12,36	18,38	17,85	16,21	16,00	13,76	13,41
MnO	0,20	0,19	0,22	0,18	0,18	0,21	0,22	0,23	0,19	0,21	0,21
MgO	4,65	2,51	4,07	5,00	7,40	4,94	4,34	5,83	4,22	7,26	7,26
CaO	7,11	6,00	2,47	10,93	9,72	6,84	7,44	9,20	7,76	10,82	10,48
Na ₂ O	2,52	2,61	3,92	2,35	3,59	2,86	2,94	2,28	2,43	2,07	2,45
K ₂ O	2,49	2,18	1,84	0,41	0,48	1,75	1,95	0,94	1,36	0,33	0,50
P ₂ O ₅	0,32	0,45	0,42	0,15	0,25	0,84	1,26	0,17	0,37	0,11	0,12
PF	2,25	1,30	2,40	2,03	2,87	2,84	2,70	1,12	2,00	0,68	0,78
Mg#	37,9	25,0	34,7	43,9	55,7	36,0	33,8	43,0	35,6	52,5	53,1
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr											
Ni	68	3	36	69	80	45	42	45	37	97	85
Rb	73	76	47	14	18	36	50	39	41	11	20
Nb	12	15	13	6	14	26	29	4	13	6	5
Zr	182	250	222	97	144	270	369	121	209	85	87
Y	34	46	38	29	35	49	57	52	35	27	29
Sr	365	231	186	149	393	341	369	125	364	104	118
Ba	1036	736	668	75	260	1051	1250	474	754	61	84
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	27,90	46,10	36,80	7,55							7,21
Ce	56,60	94,10	81,10	18,50							17,50
Nd	27,00	41,00	37,00	11,66							12,00
Sm	6,94	9,27	8,87	3,32							3,71
Eu	1,83	2,15	2,39	1,15							1,11
Gd											
Dy	5,29	5,48	6,63	4,23							3,75
Er											
Yb	3,52	4,42	3,43	2,84							2,97
(La/Yb) _n	5,34	7,03	7,23	1,79							1,64
(La/Sm) _n	2,53	3,13	2,61	1,43							1,22
(Gd/Yb) _n											
Eu/Eu*											
NORMA CIPW											
QZ	0,00	9,71	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	4,63	0,21	0,00
OR	14,71	12,90	10,87	2,42	2,82	10,35	11,55	5,54	8,06	1,95	2,97
AB	21,28	22,08	33,09	19,89	30,35	24,20	24,85	19,26	20,53	17,53	20,69
AN	23,09	16,40	9,83	36,38	22,35	23,42	22,27	22,65	21,98	28,15	25,25
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	4,32	4,48	0,00	7,09	10,20	2,33	3,04	9,18	6,00	10,39	10,87
DI-en	1,64	1,20	0,00	2,96	5,48	0,91	1,09	3,83	2,19	5,08	5,41
DI-fs	2,75	3,51	0,00	4,16	4,37	1,45	2,01	5,39	3,94	5,12	5,23
HY-en	5,61	5,09	10,18	7,24	0,53	1,93	1,27	10,75	8,37	13,06	10,71
HY-fs	9,40	14,94	18,67	10,18	0,43	3,07	2,34	15,14	15,08	13,15	10,36
OL-fo	3,05	0,00	0,00	1,62	8,74	6,65	5,95	0,00	0,00	0,00	1,41
OL-fa	5,65	0,00	0,00	2,51	7,68	11,70	12,10	0,00	0,00	0,00	1,51
MT	3,47	3,44	3,49	2,92	2,69	4,00	3,89	3,53	3,48	2,99	2,91
IL	4,34	5,27	5,47	2,29	3,83	8,15	6,91	3,63	4,95	2,14	2,42
AP	0,70	0,99	0,91	0,34	0,54	1,84	2,74	0,38	0,81	0,24	0,26

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	148	15	150	151	16	165A	165B	176	181	184
Enxame	E3	E4A	E4A	E2	E4B	E4A	E3	E3	E3	E2
ELEMENTOS MAIORES										
SiO ₂	49,88	49,95	52,94	49,15	43,65	51,51	49,77	50,35	50,24	51,86
TiO ₂	1,31	3,11	3,87	2,13	4,66	2,09	1,53	1,77	1,80	1,21
Al ₂ O ₃	13,96	13,98	13,07	14,22	14,11	14,83	13,89	13,38	13,43	14,47
FeO _T	14,53	14,93	15,60	14,13	18,56	15,10	15,48	14,64	15,27	10,87
MnO	0,22	0,19	0,20	0,22	0,23	0,19	0,23	0,23	0,22	0,17
MgO	6,77	3,67	4,25	6,62	4,99	4,61	6,90	6,80	6,20	7,39
CaO	10,54	7,14	3,49	10,57	8,06	7,70	8,61	9,80	10,06	10,33
Na ₂ O	2,29	2,85	3,60	2,06	2,41	1,81	2,37	2,01	2,12	2,23
K ₂ O	0,35	3,53	2,06	0,67	2,25	1,86	1,09	0,81	0,48	1,34
P ₂ O ₅	0,13	0,65	0,91	0,25	1,07	0,32	0,12	0,20	0,19	0,12
PF	0,87	1,82	1,94	1,92	2,16	2,42	1,70	1,37	0,00	2,52
Mg#	49,4	34,0	36,4	49,5	36,1	39,0	48,3	49,3	46,0	58,8
ELEMENTOS TRAÇOS										
Cr										
Ni	73	38	16	65	53	63	65	47	57	96
Rb	8	159	46	11	92	47	65	48	14	67
Nb	6	19	20	16	28	12	5	8	8	12
Zr	92	261	316	137	303	190	94	124	131	131
Y	31	46	45	30	53	35	33	31	39	32
Sr	109	385	188	223	351	386	113	125	117	288
Ba	350	1802	880	193	1075	804	142	173	102	315
ELEMENTOS TERRAS-RARAS										
La	6,46				48,40			11,80		
Ce	17,50				111,0			28,30		
Nd	12,20				60,60			17,10		
Sm	3,15				11,10			4,45		
Eu	1,11				2,96			1,44		
Gd										
Dy	3,73				7,69			4,77		
Er										
Yb	2,84				4,55			3,32		
(La/Yb) _n	1,53				7,17			2,40		
(La/Sm) _n	1,29				2,74			1,67		
(Gd/Yb) _n										
Eu/Eu*										
NORMA CIPW										
QZ	0,00	0,00	5,17	0,00	0,00	4,94	0,00	1,28	1,96	0,00
OR	2,08	20,90	12,16	3,96	13,31	10,99	6,42	4,82	2,81	7,91
AB	19,40	24,06	30,42	17,39	19,74	15,26	20,06	17,00	17,88	18,86
AN	26,72	14,88	11,99	27,55	20,97	26,82	24,00	25,05	25,69	25,48
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	10,36	6,99	0,00	9,79	5,32	3,97	7,53	9,36	9,65	10,46
DI-en	4,82	2,54	0,00	4,73	2,11	1,54	3,45	4,42	4,28	5,74
DI-fs	5,43	4,61	0,00	4,90	3,27	2,48	4,02	4,82	5,34	4,32
HY-en	11,18	2,12	10,64	11,73	0,00	9,98	10,41	12,57	11,21	12,67
HY-fs	12,60	3,85	16,38	12,17	0,00	16,09	12,14	13,71	14,01	9,54
OL-fo	0,66	3,15	0,00	0,06	7,26	0,00	2,37	0,00	0,00	0,04
OL-fa	0,82	6,32	0,00	0,07	12,42	0,00	3,05	0,00	0,00	0,03
MT	3,17	3,25	3,39	3,07	4,03	3,28	3,37	3,18	3,32	2,37
IL	2,49	5,92	7,35	4,05	8,86	3,96	2,91	3,36	3,42	2,31
AP	0,29	1,41	1,98	0,54	2,35	0,70	0,27	0,44	0,42	0,27

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	189	192	194	200	204	209	20B	211	217	22	220
Enxame	E3	E4A	E3	E4A	E4A	E2	E4A	E4A	E2	E3	E2
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,73	50,79	49,03	53,68	50,23	50,02	51,23	50,23	51,44	49,78	51,80
TiO ₂	1,85	2,17	1,43	3,28	2,63	2,48	2,09	3,01	2,05	1,49	2,22
Al ₂ O ₃	15,96	14,26	14,85	13,41	11,67	12,12	14,81	14,87	13,75	14,04	13,99
FeOT	14,09	15,13	15,27	13,66	18,05	16,74	14,73	14,81	14,97	14,09	13,22
MnO	0,19	0,20	0,21	0,17	0,27	0,27	0,19	0,17	0,23	0,21	0,24
MgO	4,62	5,00	6,74	2,80	4,97	6,13	4,37	4,44	6,36	6,46	6,06
CaO	9,27	8,11	9,76	7,05	8,41	8,51	7,45	7,02	6,41	10,57	8,43
Na ₂ O	2,01	2,14	2,07	2,75	2,18	2,12	3,00	2,53	2,59	2,60	2,02
K ₂ O	1,07	1,81	0,51	2,45	1,05	1,21	1,78	2,38	1,92	0,64	1,73
P ₂ O ₅	0,22	0,39	0,14	0,75	0,54	0,40	0,34	0,54	0,28	0,13	0,29
PF	1,68	1,81	2,45				2,05			0,84	
Mg#	40,7	40,9	48,0	30,1	36,6	43,4	38,3	38,6	47,1	49,0	49,0
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr				31	46	67		42	105		116
Ni	40	47	85	25	56	41	52	59	48	60	67
Rb	61	67	26	92	39	46	74	164	106	32	109
Nb	9	12	3	27	24	32	12	18	12	6	21
Zr	140	185	96	360	276	263	194	263	222	98	206
Y	43	36	75	38	34	29	36	33	27	32	26
Sr	160	229	192	453	290	301	290	264	441	123	262
Ba	164	685	410	1047	298	734	805	530	1055	98	489
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	14,60	28,20		40,00	15,00	20,00		21,00	22,00		18,00
Ce	36,00	59,20		87,00	49,00	43,00		58,00	52,00		44,00
Nd	20,70	28,70		45,00	31,00	24,00		36,00	24,00		21,00
Sm	5,15	6,33									
Eu	1,65	1,89									
Gd											
Dy	5,12	5,07									
Er											
Yb	4,09	3,54									
(La/Yb) _n	2,41	5,37									
(La/Sm) _n	1,78	2,80									
(Gd/Yb) _n											
Eu/Eu*											
NORMA CIPW											
QZ	3,66	2,15	0,00	7,27	3,66	1,68	0,00	0,61	0,23	0,00	3,36
OR	6,31	10,73	3,01	14,49	6,21	7,16	10,55	14,07	11,36	3,79	10,23
AB	17,00	18,11	17,48	23,24	18,42	17,92	25,36	21,37	21,89	21,94	17,07
AN	31,32	23,89	29,70	16,97	18,93	19,95	21,62	22,16	20,18	24,72	23,96
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	5,60	5,87	7,49	5,68	8,20	8,32	5,58	3,96	4,17	11,25	6,76
DI-en	2,25	2,39	3,41	1,91	3,02	3,57	2,14	1,60	1,91	5,24	3,26
DI-fs	3,41	3,53	4,03	3,95	5,35	4,76	3,53	2,40	2,22	5,88	3,39
HY-en	9,30	10,11	12,04	5,09	9,41	11,75	8,79	9,49	13,99	6,99	11,89
HY-fs	14,12	14,95	14,25	10,55	16,70	15,67	14,51	14,21	16,29	7,85	12,37
OL-fo	0,00	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,75	0,00
OL-fa	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41	0,00
MT	3,07	3,29	3,32	2,97	3,93	3,64	3,20	3,22	3,26	3,07	2,87
IL	3,51	4,13	2,73	6,23	5,00	4,71	3,98	5,72	3,90	2,82	4,22
AP	0,47	0,85	0,29	1,64	1,18	0,87	0,74	1,18	0,61	0,29	0,63

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	221	223	227	230	231	233	236	239	24	241	242
Enxame	E4A	E4A	E2	E4A	E2	E4A	E4A	E5	E4A	E2	E2
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,71	51,99	51,68	53,02	51,08	53,68	49,56	47,91	50,24	52,23	49,64
TiO ₂	3,09	2,62	2,74	3,14	1,80	3,10	2,45	3,36	3,15	2,67	2,37
Al ₂ O ₃	14,26	14,64	12,18	12,90	15,37	12,34	14,00	12,58	14,20	14,33	13,55
FeOT	14,91	13,71	15,31	14,18	13,33	14,83	15,47	18,06	15,50	13,71	15,92
MnO	0,19	0,18	0,30	0,18	0,17	0,18	0,19	0,22	0,21	0,19	0,27
MgO	4,10	3,57	6,17	4,15	6,45	4,87	5,27	5,30	3,73	5,24	6,75
CaO	7,60	7,99	6,68	6,63	7,80	5,93	8,73	7,08	7,03	6,97	6,31
Na ₂ O	2,51	2,93	1,55	2,44	2,22	2,18	2,24	2,47	2,63	2,76	2,11
K ₂ O	2,10	1,75	3,06	2,50	1,41	2,07	1,77	1,61	2,63	1,45	2,78
P ₂ O ₅	0,53	0,62	0,33	0,86	0,37	0,82	0,32	1,41	0,68	0,45	0,30
PF									2,12		
Mg#	36,6	35,3	45,8	38,0	50,4	40,8	41,7	38,1	33,6	44,5	47,1
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	46	46	39	34	111	50	112	58		60	68
Ni	49	41	46	45	60	46	101	55	35	45	52
Rb	136	91	150	90	58	66	95	70	82	63	219
Nb	20	19	18	27	12	29	11	44	19	20	26
Zr	285	346	247	368	184	386	207	489	262	284	231
Y	35	43	32	37	22	39	26	45	46	29	41
Sr	281	270	555	504	382	604	192	457	394	402	231
Ba	558	370	3914	1348	672	1231	365	1594	1088	863	2254
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	27,00	35,00	16,00	37,50	21,00	45,00	20,00	57,00		31,00	14,00
Ce	61,00	75,00	23,00	79,20	37,00	94,00	45,00	113,0		67,00	43,00
Nd	39,00	38,00	12,00	47,50	22,00	47,00	23,00	61,00		35,00	22,00
Sm				10,00							
Eu				2,26							
Gd				8,48							
Dy				7,41							
Er				4,22							
Yb				3,83							
(La/Yb) _n				6,60							
(La/Sm) _n				2,36							
(Gd/Yb) _n				1,79							
Eu/Eu*				0,73							
NORMA CIPW											
QZ	2,29	3,37	3,09	6,37	1,75	9,14	0,00	0,23	0,56	3,98	0,00
OR	12,42	10,35	18,10	14,79	8,34	12,24	10,47	9,52	15,56	8,58	16,44
AB	21,21	24,76	13,10	20,62	18,76	18,42	18,93	20,88	22,23	23,32	17,83
AN	21,40	21,59	17,19	16,82	27,77	17,74	22,88	18,45	19,14	22,39	19,25
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	5,51	6,02	5,85	4,61	3,66	2,87	7,75	3,51	4,92	3,99	4,30
DI-en	2,13	2,23	2,68	1,86	1,78	1,22	3,24	1,38	1,75	1,81	1,98
DI-fs	3,46	3,91	3,12	2,78	1,82	1,66	4,55	2,17	3,28	2,15	2,28
HY-en	8,12	6,70	12,75	8,51	14,34	10,95	9,25	11,87	7,58	11,29	10,00
HY-fs	13,17	11,76	14,87	12,71	14,65	14,85	12,99	18,60	14,16	13,45	11,51
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,00	0,00	0,00	3,42
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00	0,00	4,35
MT	3,25	2,99	3,33	3,09	2,90	3,22	3,36	3,93	3,36	2,99	3,47
IL	5,87	4,98	5,21	5,97	3,42	5,89	4,66	6,38	5,98	5,07	4,50
AP	1,16	1,35	0,72	1,88	0,81	1,79	0,70	3,08	1,49	0,98	0,65

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	245	249	250	254	256	260	263	267	268	269	27
Enxame	E2	E4A	E3	E4A	E6	E4A	E4A	E3	E4A	E4A	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,73	52,08	49,16	52,48	55,66	53,05	51,67	50,30	51,44	51,89	48,84
TiO ₂	2,41	2,05	2,61	2,81	3,43	2,28	2,54	1,62	2,06	2,84	2,10
Al ₂ O ₃	13,61	15,34	12,60	13,03	12,35	13,78	15,53	13,87	14,98	14,00	15,34
FeOT	15,52	12,71	15,96	15,33	14,56	13,66	13,05	12,63	13,55	14,49	15,08
MnO	0,20	0,17	0,21	0,21	0,18	0,19	0,17	0,19	0,17	0,19	0,20
MgO	5,21	4,13	6,04	3,03	2,03	3,67	3,38	6,93	5,01	3,80	4,96
CaO	7,42	8,56	10,16	7,44	6,23	8,06	8,50	10,86	8,59	7,83	9,61
Na ₂ O	2,13	3,10	2,11	2,88	2,57	2,92	3,07	2,51	2,23	2,61	2,48
K ₂ O	2,35	1,45	0,82	2,11	2,39	1,88	1,64	0,88	1,51	1,74	1,17
P ₂ O ₅	0,42	0,41	0,33	0,68	0,60	0,51	0,45	0,21	0,46	0,61	0,24
PF											1,81
Mg#	41,3	40,5	44,2	29,3	22,6	36,0	35,2	53,5	43,7	35,5	40,8
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	55	98	135	59	111	90	66	290	111	51	
Ni	75	76	78	50	54	58	62	87	54	45	42
Rb	150	75	43	80	41	80	73	41	41	73	50
Nb	17	8	9	21	13	17	9	8	13	21	8
Zr	251	246	150	393	211	275	223	107	211	287	126
Y	30	34	27	49	25	38	33	24	25	37	28
Sr	379	219	239	156	336	179	210	151	336	274	193
Ba	971	321	306	532	589	425	358	146	589	462	203
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	29,00	24,00	11,50	42,00	42,00	26,10	25,00	12,80	21,00	33,00	
Ce	61,00	64,00	21,90	94,00	83,90	55,00	60,00	23,30	44,00	69,00	
Nd	34,00	30,00	15,40	55,00	49,80	35,00	32,00	15,00	24,00	37,00	
Sm			3,70		9,61	7,31		3,57			
Eu			1,36		2,56	1,87		1,21			
Gd			4,74		9,22	7,40		4,24			
Dy			4,76		8,50	6,92		4,54			
Er			2,78		4,92	4,11		2,50			
Yb			2,53		4,46	3,96		2,48			
(La/Yb) _n			3,06		6,35	4,44		3,48			
(La/Sm) _n			1,96		2,75	2,25		2,26			
(Gd/Yb) _n			1,51		1,67	1,51		1,38			
Eu/Eu*			0,99		0,82	0,77		0,95			
NORMA CIPW											
QZ	1,21	1,69	0,76	4,43	12,29	3,96	2,09	0,00	3,45	4,67	0,00
OR	13,90	8,58	4,85	12,48	14,14	11,12	9,70	5,21	8,93	10,29	6,94
AB	18,00	26,20	17,83	24,34	21,72	24,68	25,95	21,21	18,85	22,06	20,95
AN	20,59	23,62	22,46	16,36	15,07	18,90	23,71	23,95	26,36	21,31	27,22
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	5,75	6,87	10,87	6,92	5,15	7,56	6,61	11,99	5,67	5,83	7,96
DI-en	2,38	2,80	4,80	2,15	1,33	2,79	2,45	6,11	2,45	2,17	3,22
DI-fs	3,40	4,12	6,03	5,04	4,10	4,92	4,29	5,58	3,21	3,77	4,81
HY-en	10,65	7,52	10,30	5,43	3,74	6,39	6,00	7,74	10,07	7,33	6,40
HY-fs	15,25	11,04	12,96	12,71	11,48	11,27	10,55	7,06	13,16	12,70	9,57
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,43	0,00	0,00	1,94
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	3,20
MT	3,38	2,77	3,47	3,34	3,16	2,97	2,84	2,74	2,94	3,15	3,28
IL	4,58	3,90	4,96	5,34	6,52	4,33	4,83	3,08	3,91	5,40	3,99
AP	0,92	0,90	0,72	1,48	1,31	1,11	0,98	0,46	1,00	1,33	0,52

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	270	274	28	283	284	285	288	29	292	293	295
Enxame	E3	E4A	E3	E2	E2	E4A	E6	E3	E2	E4A	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,98	57,71	49,72	52,45	50,96	50,14	54,12	48,86	52,08	51,52	51,66
TiO ₂	2,22	1,34	1,17	1,92	2,17	2,81	3,19	1,29	2,11	2,61	1,62
Al ₂ O ₃	11,02	16,13	14,46	13,61	12,73	11,77	13,96	15,09	14,12	14,17	16,22
FeOT	15,73	9,64	13,96	14,37	15,32	17,74	12,95	13,64	14,20	14,57	11,60
MnO	0,25	0,13	0,20	0,17	0,22	0,27	0,16	0,19	0,19	0,19	0,16
MgO	6,26	1,71	6,98	5,58	6,54	5,34	2,57	7,14	5,90	4,12	4,85
CaO	10,09	5,87	10,20	7,06	7,76	7,87	6,84	10,60	6,93	7,87	9,33
Na ₂ O	2,41	3,72	2,57	2,60	2,62	1,95	2,90	2,64	1,97	2,76	2,98
K ₂ O	0,76	3,00	0,62	1,92	1,33	1,19	2,51	0,43	2,16	1,62	1,26
P ₂ O ₅	0,28	0,75	0,11	0,32	0,35	0,92	0,80	0,11	0,34	0,57	0,32
PF			1,33					1,40			
Mg#	45,5	27,1	51,2	44,9	47,2	38,7	29,4	52,3	46,6	37,2	46,7
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	130	2		65	103	58	36		62	77	173
Ni	72	15	78	98	77	35	22	95	83	51	74
Rb	38	144	22	67	59	50	109	13	89	82	48
Nb	10	28	5	10	23	34	27	7	12	23	11
Zr	197	646	84	234	228	412	369	88	227	325	189
Y	39	60	21	30	26	54	39	25	27	36	28
Sr	169	276	161	420	451	269	343	148	435	265	211
Ba	153	621	84	742	742	488	1047	77	856	439	274
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	16,00	60,60		27,00	23,00	30,00	41,00	6,95	26,00	31,00	17,40
Ce	36,00	121,0		56,00	56,00	74,00	88,20	19,40	57,00	71,00	40,00
Nd	22,00	72,20		26,00	25,00	50,00	50,40	11,70	26,00	42,00	25,20
Sm		13,30					9,53	2,90			5,68
Eu		3,22					2,07	1,03			1,57
Gd		12,20					8,74				5,72
Dy		11,40					7,60	3,52			5,62
Er		6,69					4,33				3,30
Yb		6,02					3,92	2,78			2,99
(La/Yb) _n		6,79					7,05	1,69			3,92
(La/Sm) _n		2,87					2,71	1,51			1,93
(Gd/Yb) _n		1,64					1,80				1,54
Eu/Eu*		0,76					0,68				0,83
NORMA CIPW											
QZ	1,76	7,36	0,00	2,14	0,32	5,02	7,51	0,00	3,67	3,07	0,33
OR	4,50	17,74	3,68	11,36	7,87	7,04	14,85	2,54	12,78	9,58	7,45
AB	20,37	31,44	21,72	21,97	22,14	16,48	24,51	22,33	16,65	23,33	25,19
AN	16,98	18,41	26,05	19,76	19,01	19,82	17,62	28,00	23,26	21,45	27,12
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	13,13	2,64	9,98	5,60	7,28	5,78	4,86	10,00	3,82	5,95	7,23
DI-en	5,84	0,73	4,77	2,46	3,36	2,25	1,61	4,91	1,74	2,29	3,29
DI-fs	7,23	2,03	5,06	3,13	3,86	3,60	3,40	4,90	2,04	3,76	3,88
HY-en	9,81	3,54	7,38	11,49	12,99	11,10	4,82	4,98	13,01	8,01	8,83
HY-fs	12,14	9,81	7,82	14,63	14,94	17,72	10,21	4,96	15,20	13,18	10,39
OL-fo	0,00	0,00	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	5,57	0,00	0,00	0,00
OL-fa	0,00	0,00	4,33	0,00	0,00	0,00	0,00	6,13	0,00	0,00	0,00
MT	3,42	2,10	3,03	3,13	3,34	3,86	2,81	2,97	3,09	3,18	2,52
IL	4,22	2,55	2,23	3,65	4,12	5,34	6,06	2,45	4,01	4,96	3,08
AP	0,61	1,64	0,24	0,70	0,76	2,01	1,75	0,25	0,74	1,24	0,70

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. **Enxames:** E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	296	297	301	302	303	305	306	307	308	31	314
Enxame	E4A	E4A	E2	E4A	E4A	E5	E5	E3	E5	E3	E1
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	53,24	53,50	52,46	54,17	53,37	57,14	58,04	50,38	49,99	48,98	55,06
TiO ₂	2,47	2,95	3,75	3,37	3,12	1,20	1,58	1,75	3,11	1,25	0,81
Al ₂ O ₃	14,27	12,60	13,27	12,50	14,46	15,86	14,40	13,32	13,17	14,80	16,28
FeOT	13,22	14,74	12,49	14,27	12,66	10,83	10,77	14,05	14,91	13,94	9,48
MnO	0,19	0,20	0,20	0,18	0,16	0,14	0,18	0,22	0,21	0,20	0,14
MgO	3,15	3,06	4,68	2,70	2,88	3,32	3,21	6,44	5,77	7,54	5,24
CaO	7,85	6,96	7,97	7,51	7,03	4,03	4,65	11,01	8,23	10,27	9,27
Na ₂ O	3,16	2,93	2,56	2,57	3,08	4,92	4,08	2,20	2,94	2,11	2,52
K ₂ O	1,84	2,45	1,77	1,88	2,38	1,98	2,50	0,43	0,88	0,78	1,06
P ₂ O ₅	0,61	0,61	0,85	0,85	0,86	0,58	0,59	0,20	0,79	0,12	0,14
PF										1,29	
Mg#	33,3	30,3	44,0	28,4	32,3	39,1	38,5	49,0	44,8	53,2	53,7
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	54	29	42	39	36	17	6	144	86		211
Ni	40	25	65	27	26	15	14	74	65	92	116
Rb	67	126	42	54	88	78	66	17	27	30	34
Nb	17	30	32	17	26	60	53	6	34	6	6
Zr	341	519	305	234	339	691	641	113	295	90	122
Y	47	56	31	32	35	49	38	25	18	26	14
Sr	170	208	760	370	322	249	441	127	547	133	259
Ba	449	514	580	886	915	627	1027	85	584	133	275
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	35,00	46,20	43,70	42,00	42,00	75,00	82,30	8,58	30,20	6,69	15,50
Ce	76,00	94,00	93,30	75,00	96,00	163,0	154,0	18,30	67,80	18,70	28,60
Nd	42,00	59,40	62,50	33,00	45,00	84,00	83,10	12,70	44,90	12,00	17,50
Sm		11,80	11,40				11,50	3,08	8,54	2,89	3,51
Eu		2,82	3,47				3,83	1,07	2,89	1,08	0,94
Gd		11,90	10,60				10,90	4,54	7,84		3,42
Dy		12,80	9,04				8,77	4,97	5,53	3,73	3,31
Er		7,42	4,19				4,30	2,85	2,69		1,83
Yb		6,75	3,39				3,56	2,76	2,05	2,94	1,58
(La/Yb) _n		4,61	8,69				15,59	2,10	9,93	1,53	6,61
(La/Sm) _n		2,46	2,41				3,70	1,75	2,22	1,46	2,78
(Gd/Yb) _n		1,42	2,52				2,47	1,33	3,09		1,75
Eu/Eu*		0,72	0,95				1,03	0,87	1,06		0,82
NORMA CIPW											
QZ	4,39	5,25	6,63	10,43	5,55	2,84	6,81	1,29	1,17	0,00	6,60
OR	10,88	14,49	10,47	11,12	14,08	11,71	14,79	2,54	5,21	4,64	6,27
AB	26,71	24,76	21,64	21,72	26,03	41,58	34,48	18,59	24,85	17,84	21,30
AN	19,28	13,96	19,45	16,99	18,56	15,31	13,56	25,17	20,11	28,56	29,94
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	6,72	7,10	6,31	6,39	4,71	0,54	2,53	11,81	6,72	9,05	6,37
DI-en	2,35	2,31	3,05	2,03	1,69	0,21	0,97	5,56	3,09	4,50	3,18
DI-fs	4,55	5,03	3,16	4,59	3,13	0,34	1,59	6,10	3,57	4,36	3,04
HY-en	5,53	5,34	8,65	4,72	5,51	8,09	7,05	10,54	11,33	8,74	9,92
HY-fs	10,70	11,62	8,96	10,66	10,18	13,49	11,57	11,57	13,07	8,48	9,48
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	0,00
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,22	0,00
MT	2,87	3,20	2,71	3,10	2,76	2,35	2,35	3,06	3,25	3,03	2,06
IL	4,69	5,61	7,13	6,40	5,93	2,28	3,00	3,33	5,91	2,38	1,54
AP	1,33	1,33	1,86	1,86	1,88	1,27	1,29	0,44	1,72	0,27	0,31

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	315	316	317	319	321	321A	323	326	327	328	329
Enxame	E2	E1	E4A	E4A	E3	E3	E1	E4A	E4A	E3	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,31	54,97	54,96	52,87	49,12	50,65	51,40	52,15	52,97	51,96	50,22
TiO ₂	2,06	0,79	1,17	2,87	1,91	1,97	0,62	2,37	2,58	1,17	1,30
Al ₂ O ₃	15,06	16,94	13,86	12,85	13,23	13,47	11,47	14,02	13,61	11,76	14,25
FeOT	12,71	9,12	13,30	15,17	16,36	15,05	12,03	14,15	14,26	13,67	13,80
MnO	0,18	0,13	0,17	0,21	0,24	0,24	0,23	0,19	0,19	0,24	0,21
MgO	7,51	5,07	4,69	3,03	5,16	4,61	12,60	3,80	3,05	7,28	6,91
CaO	8,98	9,22	6,97	7,53	10,63	10,21	9,09	8,18	7,82	11,50	9,94
Na ₂ O	2,17	2,47	3,15	2,91	2,66	3,01	1,72	2,92	3,11	1,92	2,00
K ₂ O	0,76	1,14	1,49	1,95	0,47	0,52	0,78	1,83	1,82	0,32	1,21
P ₂ O ₅	0,26	0,15	0,24	0,61	0,22	0,27	0,06	0,39	0,59	0,18	0,16
PF											
Mg#	55,3	53,8	42,5	29,5	39,8	39,1	68,8	36,0	31,0	52,8	51,2
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	134	208	57	49	93	76	1034	82	47	255	273
Ni	51	114	60	41	80	47	209	60	47	102	115
Rb	29	40	47	70	6	10	39	82	63	9	87
Nb	11	6	11	18	11	14	1	13	15	6	8
Zr	194	118	202	328	131	157	31	253	298	125	120
Y	22	17	34	48	27	80	13	38	42	31	28
Sr	450	246	246	160	170	134	274	202	180	127	173
Ba	224	285	491	83	95	115	177	391	52	442	217
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	16,00	17,00	40,00	12,00	7,96	15,00	1,00	31,00	10,00	9,08	10,00
Ce	43,00	37,00	79,00	25,00	18,10	35,00	8,00	53,00	23,00	20,00	22,00
Nd	24,00	17,00	44,00	17,00	14,10	21,00	6,00	33,00	15,00	16,40	13,00
Sm					3,53					3,95	
Eu					1,15					1,28	
Gd					4,65					5,57	
Dy					5,68					6,51	
Er					3,24					3,98	
Yb					2,97					3,49	
(La/Yb) _n					1,81					1,75	
(La/Sm) _n					1,42					1,45	
(Gd/Yb) _n					1,26					1,29	
Eu/Eu*					0,87					0,83	
NORMA CIPW											
QZ	1,08	6,66	4,68	5,26	0,00	0,45	0,00	2,35	4,38	3,48	0,00
OR	4,50	6,74	8,81	11,53	2,78	3,08	4,62	10,82	10,77	1,89	7,16
AB	18,34	20,88	26,62	24,59	22,48	25,44	14,55	24,68	26,28	16,23	16,90
AN	29,07	31,72	19,24	16,21	22,74	21,68	21,23	19,71	17,77	22,50	26,29
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	5,84	5,49	5,82	7,34	11,99	11,44	9,82	7,77	7,34	13,99	9,23
DI-en	3,12	2,76	2,36	2,31	4,66	4,41	6,05	2,87	2,39	6,88	4,44
DI-fs	2,52	2,61	3,51	5,30	7,50	7,19	3,19	5,05	5,19	6,85	4,64
HY-en	15,65	9,92	9,37	5,27	6,25	7,11	20,00	6,63	5,23	11,32	11,50
HY-fs	12,64	9,40	13,94	12,10	10,07	11,59	10,55	11,70	11,36	11,28	12,02
OL-fs	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	0,00	3,82	0,00	0,00	0,00	0,93
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	2,48	0,00	2,22	0,00	0,00	0,00	1,07
MT	2,77	1,99	2,90	3,31	3,55	3,28	2,64	3,07	3,10	2,97	3,00
IL	3,91	1,50	2,22	5,45	3,63	3,74	1,18	4,50	4,90	2,22	2,47
AP	0,57	0,33	0,52	1,33	0,48	0,59	0,13	0,85	1,29	0,39	0,35

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	33	330	331	332	333	334	335	336	339	34	340
Enxame	E4A	E3	E1	E2	E4A	E4A	E3	E4A	E3	E4B	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,56	50,18	53,00	51,21	53,16	52,62	50,12	52,38	48,69	44,27	52,59
TiO ₂	3,22	1,21	0,60	2,27	2,55	2,51	2,27	3,29	1,91	3,93	2,17
Al ₂ O ₃	14,20	14,22	9,48	12,70	13,28	13,78	11,43	13,09	15,07	15,10	14,72
FeO _T	15,34	13,36	10,97	14,38	14,13	14,27	16,62	14,40	13,11	18,00	13,35
MnO	0,19	0,23	0,19	0,22	0,20	0,19	0,24	0,18	0,18	0,24	0,19
MgO	4,02	6,37	15,42	5,74	3,04	3,33	5,91	3,56	7,30	5,10	3,64
CaO	7,40	11,98	8,55	10,12	8,05	8,02	10,26	6,90	10,64	7,13	8,36
Na ₂ O	1,90	2,20	1,29	1,98	3,13	2,95	2,27	2,73	2,10	2,94	3,11
K ₂ O	2,55	0,15	0,41	1,08	1,86	1,80	0,59	2,65	0,71	2,16	1,39
P ₂ O ₅	0,61	0,10	0,09	0,30	0,60	0,53	0,29	0,82	0,30	1,14	0,48
PF	2,13									2,80	
Mg#	35,5	50,0	74,7	45,6	31,1	32,9	42,7	34,1	53,9	37,3	36,4
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr		219	1663	99	47	52	195	24	291		77
Ni	43	96	389	61	45	69	126	33	134	44	63
Rb	89	5	12	55	67	64	21	137	28	53	48
Nb	20	3	2	15	15	15	13	27	7	25	14
Zr	250	60	78	184	335	284	195	349	158	260	284
Y	43	14	13	27	43	38	37	37	22	47	38
Sr	411	104	132	348	177	181	155	326	151	453	189
Ba	1311	32	121	149	457	435	159	889	143	1093	320
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	0,00	6,51	7,05	14,00	34,00	36,00	13,40	46,00	12,70	41,60	25,00
Ce	0,00	15,80	13,90	31,00	81,00	76,00	30,60	91,00	28,40	107,0	58,00
Nd	0,00	11,00	7,95	21,00	41,00	38,00	21,70	44,00	17,00	50,40	30,00
Sm		3,03	1,72				7,34		4,87	10,10	
Eu		0,80	0,55				1,82		1,45	3,03	
Gd		2,86	2,15				7,30		4,60		
Dy		3,54	2,48				8,50		5,35	5,44	
Er		2,14	1,32				4,74		2,64		
Yb		2,07	1,34				5,04		2,87	4,23	
(La/Yb) _n		1,06	3,55				1,79		2,98	6,63	
(La/Sm) _n		1,06	2,58				1,15		1,64	2,59	
(Gd/Yb) _n		1,11	1,29				1,17		1,29		
Eu/Eu*		0,81	0,87				0,75		0,92		
NORMA CIPW											
QZ	3,97	0,42	0,84	3,78	4,37	4,00	1,70	4,24	0,00	0,00	3,40
OR	15,09	0,89	2,43	6,39	11,00	10,65	3,49	15,67	4,20	12,75	8,22
AB	16,02	18,59	10,90	16,73	26,45	24,93	19,19	23,07	17,75	22,62	26,28
AN	22,66	28,45	18,84	22,54	16,66	19,01	19,23	15,60	29,55	21,61	22,06
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19	0,00
DI-wo	4,36	12,70	9,63	10,82	8,25	7,38	12,52	5,77	8,97	2,98	6,93
DI-en	1,65	5,96	6,40	4,88	2,70	2,53	5,25	2,14	4,65	1,18	2,57
DI-fs	2,79	6,59	2,51	5,88	5,83	5,07	7,31	3,74	4,07	1,83	4,50
HY-en	8,40	9,97	32,15	9,47	4,90	5,80	9,52	6,76	9,92	0,00	6,53
HY-fs	14,26	11,02	12,58	11,41	10,60	11,62	13,24	11,82	8,69	0,00	11,43
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	8,10	0,00
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,49	13,89	0,00
MT	3,34	2,90	2,39	3,13	3,07	3,10	3,61	3,13	2,86	3,91	2,90
IL	6,11	2,30	1,14	4,31	4,85	4,77	4,31	6,25	3,63	7,46	4,12
AP	1,34	0,22	0,20	0,65	1,31	1,16	0,63	1,79	0,65	2,48	1,05

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	342	343	348	349	351	353	357	358	359	36	362
Enxame	E4A	E5	E5	E4A	E4A	E4A	E4A	E3	E4A	E4A	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,81	50,74	50,87	52,13	53,08	52,27	52,19	52,15	53,07	54,15	52,80
TiO ₂	2,55	2,64	2,72	1,98	2,30	2,28	1,97	2,11	2,48	2,78	2,46
Al ₂ O ₃	14,80	13,77	14,27	14,34	14,49	13,70	16,33	12,07	13,19	12,38	13,45
FeO _T	13,78	14,40	13,53	13,28	13,11	13,92	11,76	14,66	14,25	15,76	14,16
MnO	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,20	0,17	0,22	0,19	0,21	0,19
MgO	4,58	5,53	5,04	4,86	3,42	4,16	3,81	5,60	3,58	2,53	3,43
CaO	8,83	8,17	8,56	8,44	8,16	8,47	8,83	10,00	7,94	6,31	8,08
Na ₂ O	2,88	3,39	3,27	2,85	3,06	3,04	3,20	2,11	2,86	2,96	3,05
K ₂ O	1,22	0,56	1,00	1,47	1,67	1,46	1,37	0,79	1,90	2,48	1,83
P ₂ O ₅	0,36	0,61	0,56	0,47	0,53	0,50	0,37	0,29	0,54	0,45	0,55
PF										1,70	
Mg#	41,1	44,6	43,9	43,4	35,4	38,5	40,4	44,5	34,5	25,2	33,7
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	124	69	70	153	82	108	94	130	69		80
Ni	70	67	61	89	55	62	64	74	53	6	63
Rb	42	39	34	59	59	55	48	31	88	104	74
Nb	10	39	35	14	13	16	12	12	15	16	16
Zr	210	330	301	261	269	281	215	196	311	247	303
Y	31	26	25	36	38	38	31	37	41	46	41
Sr	185	514	652	186	191	178	184	148	212	250	186
Ba	314	343	350	320	392	343	338	140	409	775	433
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	19,00	35,00	37,00	27,00	25,70	30,00	24,00	14,10	33,00		34,00
Ce	51,00	79,00	76,00	59,00	55,50	65,00	59,00	32,10	74,00		75,00
Nd	26,00	44,00	46,00	37,00	33,30	38,00	28,00	20,90	40,00		40,00
Sm					8,94			6,29			
Eu					1,93			1,52			
Gd					7,71			6,40			
Dy					8,46			7,53			
Er					4,33			3,95			
Yb					4,53			4,35			
(La/Yb) _n					3,82			2,19			
(La/Sm) _n					1,81			1,41			
(Gd/Yb) _n					1,37			1,19			
Eu/Eu*					0,69			0,73			
NORMA CIPW											
QZ	1,17	0,60	0,51	2,15	4,25	2,63	1,68	5,41	4,63	6,30	3,63
OR	7,22	3,31	5,91	8,69	9,88	8,64	8,10	4,67	11,24	14,65	10,82
AB	24,34	28,65	27,64	24,09	25,86	25,69	27,05	17,83	24,17	25,01	25,78
AN	23,82	20,67	21,27	21,96	20,83	19,39	26,11	21,10	17,51	13,15	17,57
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	7,47	6,80	7,48	7,17	6,91	8,23	6,49	11,20	7,82	6,47	8,06
DI-en	3,14	3,07	3,36	3,08	2,53	3,21	2,65	4,90	2,79	1,74	2,81
DI-fs	4,36	3,69	4,07	4,09	4,53	5,12	3,88	6,28	5,21	5,07	5,45
HY-en	8,31	10,76	9,24	9,07	6,02	7,19	6,87	9,10	6,16	4,58	5,76
HY-fs	11,55	12,96	11,18	12,03	10,81	11,45	10,06	11,68	11,49	13,33	11,16
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MT	3,00	3,13	2,94	2,89	2,86	3,03	2,55	3,19	3,10	3,43	3,07
IL	4,85	5,02	5,17	3,76	4,37	4,33	3,74	4,01	4,71	5,29	4,67
AP	0,79	1,33	1,22	1,03	1,16	1,09	0,81	0,63	1,18	0,99	1,20

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T . Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	367	368	370	373	374	375	377	378	38	384	385
Enxame	E4A	E4A	E4A	E5	E3	E3	E3	E4A	E3	E4A	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	51,96	51,78	52,95	50,35	50,49	50,63	51,26	49,82	49,94	52,28	51,34
TiO ₂	2,00	2,61	2,41	2,93	1,73	1,77	1,77	3,71	1,97	2,78	2,02
Al ₂ O ₃	15,57	13,67	13,74	12,47	12,22	11,85	11,55	12,09	13,15	13,90	14,67
FeOT	12,37	14,48	13,84	16,12	14,84	15,12	15,58	16,01	15,97	14,00	13,08
MnO	0,17	0,19	0,19	0,22	0,23	0,23	0,23	0,21	0,22	0,20	0,19
MgO	4,14	3,84	3,38	5,40	6,95	6,81	6,29	4,34	5,43	5,00	4,98
CaO	8,93	8,16	8,09	8,29	10,48	10,51	10,10	8,94	9,80	6,96	9,13
Na ₂ O	3,32	2,98	3,02	3,18	2,27	2,30	2,49	2,76	2,37	2,89	2,98
K ₂ O	1,15	1,72	1,84	0,54	0,56	0,54	0,52	1,01	0,96	1,53	1,22
P ₂ O ₅	0,39	0,57	0,54	0,50	0,23	0,24	0,21	1,11	0,18	0,46	0,39
PF									1,32		
Mg#	41,3	35,7	33,9	41,3	49,6	48,6	45,9	36,2	41,6	42,8	44,4
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	149	104	79	59	186	191	207	39		72	169
Ni	82	71	52	55	86	85	63	47	41	45	88
Rb	55	61	60	22	25	26	34	42	41	66	42
Nb	10	17	16	35	11	10	8	22	6	19	13
Zr	213	319	305	277	169	178	151	249	132	299	215
Y	31	44	45	25	34	33	41	33	40	33	33
Sr	223	163	176	576	130	135	171	684	121	438	178
Ba	277	413	436	263	78	71	87	412	170	911	295
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	22,00	29,60	34,00	29,00	12,00	11,00	15,00	26,00	10,80	32,00	20,00
Ce	54,00	63,10	80,00	71,00	35,00	29,00	29,00	68,00	28,40	72,00	52,00
Nd	25,00	38,20	41,00	39,00	22,00	22,00	19,00	42,00	16,90	40,00	30,00
Sm		10,70							4,43		
Eu		2,08							1,63		
Gd		8,56									
Dy		8,83							5,79		
Er		4,77									
Yb		4,93							4,59		
(La/Yb) _n		4,05							1,59		
(La/Sm) _n		1,74							1,53		
(Gd/Yb) _n		1,40									
Eu/Eu*		0,64									
NORMA CIPW											
QZ	1,08	2,40	3,96	1,06	0,60	0,91	1,74	3,61	0,11	3,65	0,46
OR	6,80	10,17	10,88	3,19	3,31	3,19	3,08	5,97	5,67	9,05	7,22
AB	28,06	25,19	25,52	26,88	19,19	19,44	21,04	23,33	20,07	24,43	25,19
AN	24,15	18,81	18,47	18,13	21,47	20,39	18,78	17,59	22,35	20,40	23,01
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	7,47	7,66	7,73	8,38	12,19	12,68	12,57	8,46	10,53	4,78	8,35
DI-en	3,09	2,84	2,72	3,53	5,77	5,89	5,54	3,31	4,28	2,10	3,67
DI-fs	4,41	4,97	5,21	4,88	6,26	6,64	6,99	5,26	6,33	2,67	4,66
HY-en	7,26	6,76	5,73	9,97	11,61	11,13	10,19	7,54	9,30	10,40	8,78
HY-fs	10,34	11,85	11,01	13,81	12,60	12,55	12,86	11,98	13,75	13,20	11,13
OL-fs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MT	2,70	3,15	3,02	3,51	3,23	3,29	3,39	3,48	3,47	3,05	2,84
IL	3,80	4,96	4,58	5,57	3,29	3,36	3,36	7,05	3,74	5,28	3,84
AP	0,85	1,24	1,18	1,09	0,50	0,52	0,46	2,42	0,40	1,00	0,85

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. **Enxames:** E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	388	39	392	397	398	399	40	400	402	403	404
Enxame	E5	E3	E4A	E2	E4A	E3	E4B	E3	E3	E3	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	49,67	48,87	50,68	50,66	54,70	50,51	44,59	50,99	50,53	50,45	49,58
TiO ₂	3,22	1,67	2,11	1,86	2,33	1,25	3,69	2,10	2,52	2,26	1,23
Al ₂ O ₃	12,25	15,65	14,72	15,08	14,46	14,07	15,29	11,06	11,29	12,47	13,81
FeOT	14,93	13,69	13,25	12,19	12,78	13,53	17,46	17,67	17,23	16,85	14,68
MnO	0,21	0,19	0,18	0,17	0,17	0,21	0,24	0,26	0,23	0,22	0,22
MgO	6,44	6,52	6,15	6,66	2,47	6,51	4,70	4,97	5,12	4,79	7,57
CaO	8,93	10,13	9,00	9,77	7,29	11,29	8,16	10,14	10,35	10,10	9,16
Na ₂ O	2,56	2,14	2,41	2,53	3,41	2,12	2,99	2,25	2,03	2,19	2,33
K ₂ O	1,27	0,94	1,22	0,84	1,97	0,34	1,70	0,27	0,38	0,32	1,20
P ₂ O ₅	0,52	0,19	0,28	0,24	0,42	0,17	1,16	0,29	0,32	0,35	0,22
PF		1,25					2,51				
Mg#	47,5	50,0	49,3	53,4	28,8	50,2	36,1	37,1	38,4	37,4	52,0
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	81		171	193	32	229		99	146	162	234
Ni	69	78	42	49	27	93	45	69	63	63	121
Rb	66	37	65	35	52	12	42	8	12	13	190
Nb	39	7	15	12	16	5	26	11	12	14	8
Zr	290	133	215	181	277	118	283	195	208	215	165
Y	22	37	26	21	31	23	50	40	40	55	32
Sr	570	132	447	402	257	129	459	115	115	139	139
Ba	292	178	368	344	640	40	1299	68	57	73	106
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	38,50	11,60	20,00	14,10	39,00	7,08	40,00	14,10	15,00	24,00	7,00
Ce	86,50	31,80	50,00	29,40	82,00	16,50	99,90	30,80	46,00	44,00	29,00
Nd	52,80	17,20	25,00	17,20	39,00	11,80	49,80	22,20	25,00	33,00	17,00
Sm	13,10	5,06		5,15		3,94	10,10	7,17			
Eu	3,28	1,49		1,43		1,02	2,78	1,75			
Gd	8,67			4,28		3,76		7,34			
Dy	6,14	5,46		4,02		4,52	7,55	8,59			
Er	3,13			2,17		2,51		4,50			
Yb	2,59	3,96		2,28		2,66	4,74	4,48			
(La/Yb) _n	10,02	1,97		4,17		1,79	5,69	2,12			
(La/Sm) _n	1,85	1,44		1,72		1,13	2,49	1,24			
(Gd/Yb) _n	2,70			1,51		1,14		1,32			
Eu/Eu*	0,89			0,91		0,80		0,73			
NORMA CIPW											
QZ	0,00	0,00	0,75	0,02	5,70	1,18	0,00	4,62	4,94	4,46	0,00
OR	7,51	5,55	7,22	4,97	11,65	2,01	10,04	1,60	2,25	1,89	7,10
AB	21,64	18,09	20,37	21,38	28,82	17,92	23,90	19,02	17,16	18,51	19,69
AN	18,15	30,29	25,71	27,27	18,29	27,84	23,23	19,26	20,54	23,22	23,64
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	9,65	7,87	7,23	8,27	6,44	11,35	4,36	12,26	12,08	10,37	8,57
DI-en	4,68	3,77	3,50	4,27	1,97	5,36	1,67	4,47	4,64	3,86	4,15
DI-fs	4,80	3,98	3,61	3,78	4,72	5,84	2,76	8,05	7,62	6,71	4,27
HY-en	11,34	9,00	11,88	12,38	4,20	10,91	0,00	7,95	8,16	8,12	8,44
HY-fs	11,62	9,52	12,25	10,95	10,07	11,89	0,00	14,32	13,38	14,13	8,67
OL-fo	0,06	2,48	0,00	0,00	0,00	0,00	7,06	0,00	0,00	0,00	4,43
OL-fa	0,06	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	12,85	0,00	0,00	0,00	5,02
MT	3,25	2,97	2,89	2,65	2,78	2,94	3,81	3,84	3,74	3,67	3,19
IL	6,12	3,18	4,01	3,53	4,43	2,38	7,02	3,99	4,79	4,29	2,34
AP	1,14	0,42	0,61	0,52	0,92	0,37	2,54	0,63	0,70	0,76	0,48

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	406	407	410	411	418	419	420	421	423	424	428
Enxame	E4A	E4A	E5	E5	E3	E4A	E5	E5	E4A	E2	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,30	50,76	50,65	50,63	49,36	53,25	49,45	49,36	48,48	49,68	51,35
TiO ₂	3,17	3,02	2,96	3,02	2,34	2,41	3,14	3,26	3,24	1,96	1,95
Al ₂ O ₃	13,86	15,17	12,76	12,96	13,27	13,25	14,05	13,27	14,77	13,72	13,63
FeO _T	15,20	13,75	14,77	14,18	14,85	15,04	14,42	14,83	14,20	14,18	13,79
MnO	0,20	0,18	0,21	0,20	0,21	0,20	0,18	0,21	0,20	0,23	0,21
MgO	4,07	3,60	5,88	5,75	6,23	3,53	5,84	5,78	4,37	8,88	5,21
CaO	8,20	8,39	7,95	8,53	10,83	7,36	8,75	9,09	9,84	7,85	9,79
Na ₂ O	2,71	3,14	2,77	2,90	2,04	2,73	2,77	2,37	2,71	2,25	2,86
K ₂ O	1,71	1,42	1,36	1,13	0,57	1,75	0,92	1,10	0,97	1,02	0,93
P ₂ O ₅	0,58	0,57	0,69	0,70	0,30	0,48	0,48	0,73	1,22	0,23	0,28
PF											
Mg#	36,0	35,4	45,5	46,0	46,8	33,0	45,9	45,0	39,2	56,8	44,2
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	45	41	88	81	199	71	76	87	97	156	87
Ni	51	44	55	53	70	55	66	65	64	91	45
Rb	99	64	62	35	14	82	35	27	41	87	29
Nb	23	19	30	28	12	17	32	27	13	17	13
Zr	312	291	340	343	153	305	237	288	249	198	157
Y	37	34	20	22	27	46	20	20	34	32	33
Sr	221	218	579	593	144	178	656	634	255	264	221
Ba	341	309	874	488	138	474	351	494	324	308	244
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	27,00	27,00	31,00	37,00	10,00	35,00	29,00	34,00	24,00	15,00	16,00
Ce	72,00	67,00	72,00	72,00	35,00	79,00	71,00	76,00	64,00	35,00	35,00
Nd	37,00	40,00	46,00	46,00	21,00	42,00	41,00	45,00	37,00	25,00	19,00
Sm											
Eu											
Gd											
Dy											
Er											
Yb											
(La/Yb) _n											
(La/Sm) _n											
(Gd/Yb) _n											
Eu/Eu*											
NORMA CIPW											
QZ	1,72	1,59	1,35	1,34	1,19	5,92	0,12	1,68	1,03	0,00	0,87
OR	10,11	8,40	8,04	6,68	3,37	10,35	5,44	6,51	5,74	6,03	5,50
AB	22,90	26,54	23,41	24,51	17,24	23,07	23,41	20,03	22,90	19,02	24,17
AN	20,57	23,07	18,33	18,98	25,33	18,70	23,15	22,29	25,24	24,29	21,57
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	6,98	6,36	7,13	8,04	11,13	6,27	7,29	7,74	6,86	5,56	10,59
DI-en	2,66	2,41	3,30	3,79	5,14	2,13	3,45	3,60	2,86	3,00	4,60
DI-fs	4,43	4,05	3,75	4,14	5,88	4,33	3,74	4,06	4,03	2,37	5,98
HY-en	7,51	6,59	11,40	10,59	10,44	6,70	11,15	10,85	8,06	15,15	8,43
HY-fs	12,51	11,04	12,93	11,58	11,95	13,63	12,11	12,24	11,36	11,97	10,97
OL-fo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83	0,00
OL-fa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,47	0,00
MT	3,31	2,99	3,22	3,09	3,23	3,28	3,13	3,22	3,09	3,09	3,00
IL	6,02	5,74	5,62	5,74	4,45	4,58	5,97	6,19	6,16	3,72	3,71
AP	1,27	1,24	1,51	1,53	0,65	1,05	1,05	1,59	2,66	0,50	0,61

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. **Enxames:** E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	430	431	432	435	436	437	438	441	442	46	53
Enxame	E5	E4A	E4A	E4A	E2	E4A	E2	E2	E2	E3	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	46,76	54,27	52,45	50,98	50,15	50,67	49,59	50,99	49,61	46,76	49,69
TiO ₂	3,88	1,67	2,59	1,72	2,25	1,50	2,22	2,28	2,09	3,11	1,00
Al ₂ O ₃	13,55	14,62	13,24	15,55	14,47	15,87	12,78	13,00	11,93	13,02	14,47
FeO _T	15,62	14,07	15,14	12,55	15,54	12,11	14,93	14,37	15,80	18,96	12,91
MnO	0,22	0,18	0,21	0,18	0,22	0,17	0,24	0,22	0,26	0,21	0,20
MgO	6,31	2,82	3,46	5,32	6,15	5,81	7,03	5,83	7,59	5,55	7,55
CaO	8,83	7,92	7,70	9,22	6,98	9,25	9,61	9,93	9,77	8,92	11,04
Na ₂ O	2,62	2,65	2,77	2,56	2,70	2,25	2,61	2,54	2,16	2,06	2,73
K ₂ O	1,07	1,54	1,92	1,64	1,17	2,14	0,67	0,55	0,54	1,05	0,33
P ₂ O ₅	1,14	0,26	0,52	0,28	0,37	0,23	0,32	0,29	0,25	0,35	0,10
PF										1,52	0,27
Mg#	45,9	29,6	32,4	47,1	45,4	50,2	49,7	46,0	50,2	38,1	55,1
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	60	43	50	178	28	206	85	101	124		
Ni	50	50	43	83	33	98	63	62	82	53	90
Rb	41	45	82	79	77	158	40	20	24	34	11
Nb	36	9	16	10	29	9	19	14	15	10	5
Zr	235	205	304	183	266	150	196	189	191	193	68
Y	22	30	42	25	40	26	26	27	27	46	23
Sr	582	205	183	225	405	290	452	277	347	127	99
Ba	505	398	426	312	371	668	197	141	145	290	59
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	31,00	26,00	33,00	17,00	23,00	14,00	16,00	14,00	14,00	21,50	
Ce	68,00	57,00	77,00	45,00	66,00	31,00	39,00	33,00	33,00	48,70	
Nd	45,00	27,00	43,00	25,00	33,00	20,00	25,00	19,00	20,00	24,10	
Sm										6,38	
Eu										2,10	
Gd											
Dy										6,79	
Er											
Yb										4,55	
(La/Yb) _n										3,19	
(La/Sm) _n										2,12	
(Gd/Yb) _n											
Eu/Eu*											
NORMA CIPW											
QZ	0,00	7,47	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	2,44	0,00	0,00	0,00
OR	6,33	9,11	11,36	9,70	6,92	12,66	3,96	3,25	3,19	6,22	1,95
AB	22,14	22,40	23,41	21,64	22,82	19,02	22,06	21,47	18,26	17,43	23,09
AN	22,02	23,41	17,99	26,05	23,87	26,84	21,15	22,42	21,23	23,12	26,20
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	6,31	6,00	7,17	7,54	3,59	7,40	10,30	10,51	10,77	7,98	11,68
DI-en	3,04	1,78	2,41	3,45	1,60	3,56	4,97	4,77	5,19	3,09	5,95
DI-fs	3,17	4,48	4,98	4,03	1,98	3,72	5,15	5,65	5,39	5,00	5,44
HY-en	8,54	5,27	6,24	9,25	13,73	7,94	9,98	9,80	13,64	7,98	5,14
HY-fs	8,89	13,28	12,86	10,78	16,96	8,31	10,33	11,60	14,16	12,90	4,70
OL-fo	2,93	0,00	0,00	0,42	0,03	2,12	1,84	0,00	0,10	1,97	5,44
OL-fa	3,37	0,00	0,00	0,54	0,05	2,45	2,10	0,00	0,11	3,51	5,50
MT	3,39	3,06	3,29	2,73	3,38	2,64	3,25	3,13	3,44	4,13	2,80
IL	7,37	3,17	4,92	3,27	4,28	2,85	4,22	4,33	3,97	5,92	1,89
AP	2,49	0,57	1,14	0,61	0,81	0,50	0,70	0,63	0,55	0,76	0,22

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	54	56	60	61	65(19)	68	73	75	79	80	81
Enxame	E4B	E3	E4A	E2	E4B	E4B	E3	E4A	E2	E4A	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	45,97	50,76	50,04	50,18	45,87	44,17	50,04	50,58	50,79	48,72	49,53
TiO ₂	3,54	1,50	3,08	1,91	3,65	3,93	2,05	3,19	2,02	3,25	1,91
Al ₂ O ₃	16,10	12,39	13,94	14,80	15,86	14,97	13,69	13,96	14,64	12,51	15,38
FeOT	16,87	15,92	15,23	14,93	16,83	18,18	15,22	15,35	14,32	17,76	14,47
MnO	0,20	0,23	0,19	0,20	0,23	0,22	0,22	0,19	0,19	0,28	0,20
MgO	4,00	6,45	3,85	5,36	4,47	5,02	6,16	3,71	5,60	5,60	5,30
CaO	6,97	9,50	7,48	8,07	7,11	8,07	9,01	7,28	7,43	7,68	9,75
Na ₂ O	4,13	2,41	2,90	3,24	3,08	2,44	2,50	2,88	1,64	2,11	2,44
K ₂ O	1,49	0,64	2,65	1,06	1,83	1,67	0,87	2,17	3,02	1,56	0,77
P ₂ O ₅	0,72	0,19	0,64	0,27	1,06	1,32	0,26	0,67	0,35	0,53	0,23
PF	2,57	0,78	1,55	2,50	2,73	2,78	0,97	1,90	2,20	2,10	1,16
Mg#	33,2	45,9	34,6	43,0	35,8	36,7	45,9	33,7	45,1	39,8	43,4
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr											
Ni	38	65	37	39	43	44	43	37	57	36	47
Rb	40	29	110	34	51	40	45	68	166	69	24
Nb	29	7	20	11	26	22	8	19	10	14	8
Zr	289	124	253	160	289	242	127	261	160	227	127
Y	61	33	42	20	54	49	35	44	31	53	36
Sr	369	128	336	437	366	415	131	377	379	261	171
Ba	1227	82	1196	530	2184	1081	168	948	1077	598	163
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La			38,60	21,40	44,70	40,60				20,60	
Ce			91,40	48,70	106,0	95,00				55,10	
Nd			42,40	23,10	52,50	53,40				35,10	
Sm			8,54	5,69	10,30	10,40				8,06	
Eu			2,24	1,71	2,98	2,93				2,61	
Gd											
Dy			6,74	4,43	8,28	7,24				8,22	
Er											
Yb			4,13	3,16	4,45	4,35				5,38	
(La/Yb) _n			6,30	4,57	6,77	6,29				2,58	
(La/Sm) _n			2,84	2,37	2,73	2,46				1,61	
(Gd/Yb) _n											
Eu/Eu*											
NORMA CIPW											
QZ	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,71	0,83	0,00
OR	8,84	3,80	15,65	6,26	10,84	9,87	5,17	12,86	17,84	9,26	4,57
AB	28,17	20,40	24,52	27,34	26,07	20,62	21,11	24,36	13,86	17,81	20,63
AN	20,94	21,06	17,17	22,69	23,97	24,93	23,53	18,70	23,63	20,02	28,68
NE	3,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	3,94	10,42	6,76	6,58	2,14	3,09	8,22	5,65	4,68	6,26	7,66
DI-en	1,40	4,54	2,48	2,76	0,82	1,21	3,68	2,03	2,07	2,55	3,26
DI-fs	2,63	5,86	4,42	3,84	1,36	1,92	4,51	3,75	2,59	3,75	4,42
HY-en	0,00	11,58	5,14	6,79	2,01	3,24	11,67	7,25	11,94	11,46	9,87
HY-fs	0,00	14,95	9,16	9,44	3,34	5,16	14,31	13,38	14,97	16,88	13,41
OL-fo	6,01	0,00	1,40	2,70	5,84	5,68	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
OL-fa	12,43	0,00	2,75	4,14	10,70	9,98	0,04	0,00	0,00	0,00	0,13
MT	3,67	3,46	3,31	3,25	3,66	3,96	3,31	3,33	3,12	3,86	3,14
IL	6,73	2,84	5,86	3,63	6,94	7,47	3,89	6,06	3,83	6,18	3,63
AP	1,57	0,42	1,40	0,59	2,31	2,88	0,56	1,46	0,76	1,16	0,51

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	87	90	92	94	99	Con1	Con10	Con12	Con13	Con14	Con15
Enxame	E4A	E3	E4A	E4A	E4A	E3	E3	E4A	E4A	E3	E3
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	53,00	49,39	50,90	50,60	49,27	48,97	50,98	50,70	50,66	49,37	49,55
TiO ₂	2,36	1,24	2,37	2,16	3,02	1,73	1,21	2,14	2,18	1,72	1,64
Al ₂ O ₃	13,30	14,76	13,71	13,86	14,36	14,20	13,75	14,45	14,63	13,80	14,54
FeOT	15,32	13,86	15,50	15,34	15,17	14,59	14,14	15,09	15,06	14,20	13,88
MnO	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,23	0,23	0,20	0,20	0,23	0,22
MgO	3,57	7,45	4,78	5,45	4,81	5,93	6,22	4,42	4,16	6,45	6,30
CaO	7,20	10,50	8,14	8,16	7,74	10,28	10,55	7,75	7,89	11,15	10,42
Na ₂ O	2,89	2,02	2,25	2,22	2,05	3,30	2,40	3,05	3,35	2,39	2,89
K ₂ O	1,83	0,47	1,70	1,63	2,77	0,57	0,44	1,86	1,54	0,55	0,38
P ₂ O ₅	0,33	0,11	0,45	0,38	0,61	0,21	0,09	0,33	0,33	0,14	0,17
PF	0,83	1,10	1,90	2,00	1,52	1,32	2,02	1,67	1,90	1,26	0,57
Mg#	32,8	53,0	39,3	42,7	39,9	46,0	48,0	38,1	36,7	48,8	48,8
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr						102	83	57	47	191	103
Ni	22	91	49	65	39	64	44	68	61	77	79
Rb	60	18	101	62	84	19	14	50	41	25	12
Nb	14	6	13	11	16	9	4	12	12	6	6
Zr	219	88	202	185	228	108	65	182	185	79	93
Y	40	26	39	36	36	43	29	36	37	40	33
Sr	249	138	285	304	369	120	125	270	301	92	117
Ba	611	82	672	645	1142	161	86	764	591	105	111
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	37,00	7,38	37,70	27,70		12,60	7,21	27,10	26,50	9,79	10,20
Ce	74,70	17,90	77,20	54,50		27,50	17,90	56,90	55,80	23,10	23,70
Nd	35,00	10,60	35,20	27,30		18,00	11,10	32,60	31,70	15,30	15,20
Sm	7,48	3,14	7,90	6,50		5,60	3,38	6,93	6,92	4,54	4,14
Eu	2,03	1,09	2,09	1,88		1,63	1,15	2,00	1,95	1,40	1,37
Gd						7,15	4,87	7,83	7,48	6,35	5,66
Dy	6,07	3,52	6,05	4,84		7,55	5,27	6,85	6,73	6,74	6,03
Er											
Yb	4,20	2,60	3,79	3,04		4,08	2,99	3,34	3,23	3,70	3,34
(La/Yb) _n	5,94	1,91	6,71	6,14		2,08	1,63	5,47	5,53	1,78	2,06
(La/Sm) _n	3,11	1,48	3,00	2,68		1,42	1,34	2,46	2,41	1,36	1,55
(Gd/Yb) _n						1,41	1,31	1,89	1,87	1,38	1,37
Eu/Eu*						0,79	0,87	0,83	0,82	0,80	0,87
NORMA CIPW											
QZ	4,30	0,00	2,72	1,52	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00
OR	10,84	2,78	10,08	9,62	16,40	3,35	2,58	11,01	9,08	3,24	2,25
AB	24,43	17,07	18,97	18,79	17,29	27,88	20,31	25,77	28,33	20,18	24,41
AN	17,85	29,78	22,25	22,99	21,77	22,25	25,41	20,21	20,30	25,28	25,56
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	6,65	9,04	6,49	6,39	5,45	11,50	11,01	6,82	7,06	12,20	10,49
DI-en	2,23	4,48	2,56	2,69	2,26	5,09	4,97	2,59	2,60	5,70	4,90
DI-fs	4,62	4,38	4,01	3,71	3,22	6,36	5,98	4,33	4,60	6,35	5,47
HY-en	6,68	12,01	9,38	10,92	9,04	0,81	10,58	6,38	5,38	7,44	6,19
HY-fs	13,84	11,75	14,70	15,08	12,91	1,01	12,73	10,67	9,52	8,29	6,91
OL-fo	0,00	1,49	0,00	0,00	0,50	6,24	0,00	1,46	1,69	2,09	3,26
OL-fa	0,00	1,61	0,00	0,00	0,79	8,61	0,00	2,69	3,29	2,57	4,02
MT	3,33	3,02	3,37	3,34	3,29	3,17	3,08	3,28	3,27	3,09	3,03
IL	4,48	2,36	4,50	4,11	5,73	3,29	2,29	4,07	4,15	3,26	3,12
AP	0,73	0,24	0,98	0,83	1,34	0,45	0,20	0,72	0,73	0,32	0,38

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	Con15X	Con17	Con22	Con23	Con26	Con29	Con31	Con33	Con34	Con35	Con36
Enxame	E3	E4B	E3	E4A	E4A	E3	E3	E3	E4A	E4A	E4A
ELEMENTOS MAIORES											
SiO ₂	50,31	43,46	49,73	50,92	50,73	49,73	48,17	50,01	50,99	51,38	50,55
TiO ₂	1,47	4,42	1,51	2,35	2,30	1,97	2,64	1,51	2,42	3,46	2,62
Al ₂ O ₃	14,03	14,53	13,62	14,66	14,71	13,73	11,38	14,75	14,59	13,13	14,31
FeO _T	14,77	18,65	14,34	15,06	14,99	14,79	18,33	14,12	15,55	16,91	14,97
MnO	0,21	0,23	0,23	0,21	0,20	0,21	0,26	0,22	0,21	0,22	0,21
MgO	5,81	4,55	6,28	4,27	4,36	5,69	6,30	5,89	4,35	5,23	4,22
CaO	10,29	8,23	10,64	8,24	7,68	10,09	9,91	10,36	7,75	4,90	8,13
Na ₂ O	2,55	2,74	2,88	2,61	2,74	2,93	2,06	2,28	2,35	3,15	3,31
K ₂ O	0,41	1,71	0,63	1,35	1,96	0,64	0,76	0,74	1,44	1,20	1,35
P ₂ O ₅	0,13	1,46	0,14	0,32	0,32	0,20	0,18	0,14	0,33	0,42	0,34
PF	0,15	2,60	1,51	2,11	2,32	0,41	1,38	1,62	2,28	2,47	1,81
Mg#	45,2	33,8	47,9	37,3	37,9	44,6	41,9	46,6	37,0	39,4	37,2
ELEMENTOS TRAÇOS											
Cr	80	62	139	46	46	93	116	95	47	45	45
Ni	63	54	60	65	64	62	76	65	68	51	62
Rb	14	34	26	39	55	21	29	35	45	23	33
Nb	7	31	6	13	12	8	8	6	12	15	13
Zr	90	324	83	191	189	114	90	85	190	215	201
Y	34	56	33	35	35	43	40	33	36	41	36
Sr	106	316	109	410	395	100	106	102	399	414	349
Ba	96	986	108	585	716	136	149	105	635	827	563
ELEMENTOS TERRAS-RARAS											
La	11,40	50,10	10,20	26,80	26,20	13,90	13,10	10,30	27,30	32,80	26,70
Ce	27,20	112,0	24,50	54,90	53,10	31,90	24,70	23,60	54,90	66,60	55,50
Nd	17,10	69,30	15,30	30,80	29,60	19,30	16,90	14,60	31,30	38,20	30,70
Sm	4,60	13,80	4,21	6,98	6,71	5,78	5,66	4,29	7,01	8,62	6,94
Eu	1,39	3,49	1,27	2,02	1,96	1,68	1,62	1,31	2,00	2,34	1,97
Gd	6,14	14,10	5,70	7,65	7,45	7,05	6,87	5,50	7,61	9,08	7,50
Dy	6,50	11,40	6,05	6,76	6,61	7,59	7,34	5,86	6,86	7,90	6,74
Er											
Yb	3,46	4,88	3,20	3,32	3,27	4,29	3,88	3,33	3,34	3,41	3,32
(La/Yb) _n	2,22	6,92	2,15	5,44	5,40	2,18	2,28	2,09	5,51	6,48	5,42
(La/Sm) _n	1,56	2,28	1,52	2,42	2,46	1,51	1,46	1,51	2,45	2,39	2,42
(Gd/Yb) _n	1,43	2,33	1,44	1,86	1,84	1,33	1,43	1,33	1,84	2,15	1,82
Eu/Eu*	0,80	0,76	0,79	0,84	0,84	0,80	0,79	0,82	0,83	0,80	0,83
NORMA CIPW											
QZ	0,11	0,00	0,00	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	3,49	3,39	0,00
OR	2,45	10,12	3,73	8,00	11,59	3,81	4,49	4,37	8,54	7,09	7,99
AB	21,53	23,19	24,30	22,08	23,20	24,78	17,41	19,25	19,90	26,65	27,98
AN	25,60	22,25	22,37	24,25	21,99	22,37	19,54	27,80	24,93	18,10	20,15
NE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	10,32	4,19	12,36	6,16	5,94	11,07	11,95	9,53	4,84	1,56	7,59
DI-en	4,45	1,55	5,63	2,32	2,27	4,82	4,96	4,24	1,81	0,64	2,90
DI-fs	5,87	2,72	6,64	3,95	3,76	6,23	7,06	5,24	3,11	0,93	4,82
HY-en	10,09	0,28	4,33	8,34	8,59	6,00	9,25	10,38	9,07	12,44	6,52
HY-fs	13,30	0,48	5,10	14,17	14,25	7,75	13,16	12,81	15,59	18,04	10,83
OL-fo	0,00	6,68	4,02	0,00	0,02	2,38	1,09	0,07	0,00	0,00	0,79
OL-fa	0,00	12,90	5,23	0,00	0,04	3,39	1,71	0,09	0,00	0,00	1,45
MT	3,21	4,05	3,12	3,27	3,27	3,21	3,98	3,08	3,38	3,67	3,26
IL	2,79	8,40	2,87	4,47	4,38	3,75	5,02	2,87	4,59	6,57	4,98
AP	0,29	3,19	0,32	0,70	0,71	0,45	0,39	0,30	0,73	0,92	0,74

Análises químicas em rocha total com elementos maiores, na forma de seus óxidos, expressos em % em peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Os elementos maiores estão recalculados para 100 % sem a perda ao fogo (PF) e o Ferro Total aparece expresso como FeO_T. Encontram-se aqui também os resultados da Norma CIPW. Enxames: E1 - Enxame 1, E2 - Enxame 2, E3 - Enxame 3, E4A - Tipo normal do Enxame 4, E4B - Tipo dessilicatado do Enxame 4, E5 - Enxame 5, E6 - Enxame 6.

Amostra	Con5	Con6	Con7	Con9	Esm1	Esm3	Esm6	Esm7	Esm8	Esm9
Enxame	E4B	E3	E4A	E4A	E4A	E4A	E4A	E3	E4A	E3
ELEMENTOS MAIORES										
SiO ₂	44,14	46,62	51,26	50,65	48,05	48,30	52,56	49,28	49,76	48,65
TiO ₂	4,07	2,64	2,82	2,22	2,38	2,89	2,53	1,79	3,82	2,14
Al ₂ O ₃	14,61	14,46	13,31	14,89	14,93	14,09	13,39	13,89	12,91	13,31
FeOT	18,07	16,43	15,59	15,01	15,78	16,40	15,06	14,31	16,21	15,86
MnO	0,24	0,23	0,21	0,20	0,20	0,22	0,22	0,21	0,21	0,22
MgO	4,49	6,32	4,46	4,55	5,08	5,06	3,39	6,74	3,99	6,31
CaO	8,40	9,79	7,09	8,00	8,41	8,27	7,27	9,29	7,55	9,21
Na ₂ O	3,23	2,18	3,52	2,81	2,47	2,33	3,15	2,49	2,65	2,75
K ₂ O	1,39	0,82	1,33	1,36	2,38	2,10	2,09	1,76	2,15	1,29
P ₂ O ₅	1,35	0,50	0,40	0,31	0,32	0,34	0,33	0,23	0,74	0,27
PF	3,14	2,45	2,28	2,25	1,94	1,52	1,43	1,50	1,39	1,36
Mg#	34,3	44,7	37,5	38,9	40,3	39,3	32,1	49,7	34,1	45,5
ELEMENTOS TRAÇOS										
Cr	60	99	31	48	44	49	31		43	
Ni	52	98	40	66	95	83	29	68	46	54
Rb	29	28	25	33	102	101	55	39	59	61
Nb	28	12	14	11	11	13	13	8	20	7
Zr	313	197	215	176	165	187	216	129	251	137
Y	52	41	37	33	35	37	42	36	48	39
Sr	321	130	428	327	282	231	270	142	244	161
Ba	761	215	673	532	739	522	710	187	881	231
ELEMENTOS TERRAS-RARAS										
La	44,30	18,40	27,70	24,10	23,50	25,10	36,40		39,40	
Ce	102,0	42,80	60,30	50,20	50,20	52,90	74,30		82,90	
Nd	63,10	26,90	35,10	27,90	28,50	31,40	40,80		48,30	
Sm	12,60	6,48	7,66	6,41	6,48	6,81	8,18		9,82	
Eu	3,27	2,15	2,17	1,87	1,91	1,96	2,26		2,37	
Gd	13,00	7,89	8,24	6,91	7,24	7,59	8,90		10,40	
Dy	10,70	7,82	7,11	6,18	6,55	6,99	8,10		8,93	
Yb	4,53	4,01	3,14	3,06	3,17	3,38	3,91		4,11	
(La/Yb) _n	6,59	3,09	5,95	5,31	5,00	5,01	6,28		6,46	
(La/Sm) _n	2,21	1,79	2,27	2,37	2,28	2,32	2,80		2,52	
(Gd/Yb) _n	2,32	1,59	2,12	1,82	1,84	1,81	1,84		2,04	
Eu/Eu*	0,78	0,92	0,83	0,85	0,85	0,83	0,81		0,71	
NORMA CIPW										
QZ	0,00	0,00	0,13	0,65	0,00	0,00	2,19	0,00	1,46	0,00
OR	8,24	4,86	7,87	8,07	14,10	12,40	12,37	10,43	12,72	7,61
AB	25,11	18,46	29,76	23,76	20,85	19,69	26,64	21,07	22,39	23,23
AN	21,24	27,18	16,55	23,94	22,57	21,75	16,18	21,47	16,95	20,15
NE	1,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DI-wo	5,23	7,71	6,81	5,81	7,21	7,22	7,51	9,72	6,75	10,01
DI-en	1,94	3,42	2,63	2,26	2,91	2,90	2,49	4,63	2,51	4,44
DI-fs	3,39	4,25	4,28	3,63	4,37	4,39	5,25	4,94	4,36	5,53
HY-en	0,00	6,64	8,53	9,11	1,73	5,59	5,98	3,89	7,47	3,59
HY-fs	0,00	8,25	13,84	14,63	2,60	8,46	12,59	4,14	12,98	4,47
OL-fo	6,51	4,02	0,00	0,00	5,64	2,92	0,00	5,83	0,00	5,43
OL-fa	12,56	5,52	0,00	0,00	9,36	4,88	0,00	6,86	0,00	7,45
MT	3,93	3,57	3,39	3,26	3,43	3,57	3,27	3,11	3,53	3,45
IL	7,74	5,02	5,36	4,21	4,53	5,48	4,82	3,41	7,26	4,06
AP	2,95	1,09	0,87	0,68	0,70	0,75	0,72	0,51	1,62	0,58

ANEXO II

Breve descrição dos pontos visitados

BREVE DESCRIÇÃO DOS PONTOS

PARA LOCALIZAÇÃO E OUTRAS INFORMAÇÕES, VER MAPA DO ANEXO III
E DADOS COMPLEMENTARES NOS RESPECTIVOS CAPÍTULOS

LEGENDA:	(E1) Enxame 1	~2,65 Ga
	(E2) Enxame 2	inferidos a ~2,5 Ga
	(E3A) Diques não-metamorfisados do Enxame 3	~2,2 Ga
	(E3B) Diques parcialmente metamorfisados do Enxame 3	~2,2 Ga
	(E3C) Diques anfíbolíticos do Enxame 3	~2,2 Ga
	(E4A) Tipo normal do Enxame 4	~1,7 Ga
	(E4B) Tipo dessilicatado do Enxame 4	~1,7 Ga
	(E5) Enxame 5	~0,9 Ga
	(E6) Enxame 6	inferidos a ~0,2-0,1 Ga

- CON 1 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 5 - Blocos de dique E4B
- CON 6 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 7 - Blocos de dique E4A
- CON 9 - Blocos de dique E4A
- CON 10 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 12 - Blocos de dique E4A
- CON 13 - Blocos de dique E4A
- CON 14 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 15 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 15X - Blocos de dique anfíbolítico (E3C), alguns ostentando megacristais de plagioclásio rotacionados
- CON 17 - Blocos de dique E4B
- CON 20 - Dique E4A cortado por falha vertical. Neste ponto, o dique encontra-se ruptilmente deformado
- CON 22 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 23 - Blocos de dique E4A
- CON 26 - Blocos de dique E4A
- CON 29 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 31 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 33 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- CON 34 - Blocos de dique E4A
- CON 35 - Blocos de dique E4A
- CON 36 - Blocos de dique E4A
- CON 46 - Dique clástico com porções conglomeráticas, areníticas e siltíticas.
- ESM 1 - Blocos de dique E4A
- ESM 2 - Dique anfíbolítico (E3C) em contato com granito leucocrático
- ESM 3 - Blocos de dique E4A
- ESM 4 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- ESM 5 - Afloramento preservado de dique E4A, porfírico. Orientação do fluxo dos fenocristais de plagioclásio = orientação do dique = N60W
- ESM 5M - Blocos de dique anfíbolítico (E3C), cortado por dique E4A (ESM5)
- ESM 6 - Afloramento em uma drenagem ostentando um contato de dique E4A com granito leucocrático encaixante

- ESM 7 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- ESM 8 - Blocos de dique E4A
- ESM 9 - Dique anfibolítico (E3C) cruzando migmatito em corte de estrada
- 10 - Pedreira de granito leucocrático cortado por zona de cisalhamento de atitude 260/75, 20cm de largura e movimento dextral apontado pela rotação da leve foliação pré-existente do granito.
- 11 - Blocos de dique E4A
- 12 - Afloramento de granito semelhante ao da pedreira do ponto 10
- 13 - Granito (mesmo do ponto 12) cortado por pegmatitos e aplitos de até 1m largura
- 14 - Blocos de dique E4A
- 15 - Blocos de dique E4A
- 16 - Blocos de dique E4B junto a blocos de granito
- 17 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 18 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 19(=65) - Blocos de dique E4B
- 20 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 20 B - Blocos de dique E4A
- 21 - Blocos de granito róseo
- 22 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 23 - Blocos de dique E4A
- 24 - Blocos de dique E4A
- 25 - Gnaiss
- 26 - Blocos de dique E5
- 27 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 28 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 29 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 30 - Dique clástico quartzoso de 2m de largura
- 31 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 32 - Blocos de dique E4A, porfirítico, com fenocristais de plagioclásio
- 33 - Blocos de dique E4A
- 34 - Blocos de dique E4B
- 35 - Blocos de dique E4A
- 36 - Blocos de dique E4A
- 37 - Gnaiss
- 38 - Blocos de dique anfibolítico (E3C). Nas proximidades, há blocos de dique E4B
- 39 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 40 - Blocos de dique E4B
- 41 - Blocos de dique E2
- 42 - Blocos de anfibolito cortados por veios quartzo-feldspáticos centimétricos
- 43 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 44 - Blocos alterados de dique anfibolítico (E3C)
- 45 - Falha normal subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico.
- 46 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 47 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 48 - Blocos de dique parcialmente metamorfizado (E3B)
- 49 - Afloramento preservado de dique anfibolítico (E3C) com megacristais de plagioclásio de até 2cm rotacionados
- 50 - Blocos de dique parcialmente metamorfizado (E3B)
- 51 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com minerais finamente orientados
- 52 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio

- 53 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 54 - Blocos de dique E4B
- 55 - Blocos de anfibolito cortados por veios quartzo-feldspáticos centimétricos
- 56 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 57 - Granitóide foliado
- 58 - Dique anfibolítico (E3C) em contato com granitóide foliado
- 59 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio
- 60 - Blocos de dique E4A
- 61 - Blocos de dique E2
- 62 - Blocos de dique E4B
- 63 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 64 - Blocos de dique E4B
- 65 - idem ponto 19
- 66 - Rocha granitóide cisalhada
- 67 - Rocha granitóide cisalhada
- 68 - Blocos de dique E4B
- 69 - Blocos de dique E4B
- 70 - Dique E4B cortado por falha normal. Neste ponto, o dique encontra-se ruptilmente deformado
- 71 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 72 - Blocos de rocha granitóide
- 73 - Blocos de dique anfibolítico (E3C). Amostras próximas à borda do dique são de granulação fina e com minerais orientados; as do centro são de grão grosso e sem orientação mineral
- 74 - Blocos de granitóide intensamente foliado
- 75 - Afloramento preservado de dique E4A em uma drenagem
- 76 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio
- 77 - Rocha máfica cisalhada que não ocorre na forma de dique (associada ao Supergrupo Rio das Velhas)
- 78 - Rocha máfica semelhante à do ponto 77 (grão fino), porém menos cisalhada
- 79 - Blocos de dique E2
- 80 - Blocos de dique E4A
- 81 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 82 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B) com megacristais de plagioclásio rotacionados
- 83 - Afloramento de granito leucocrático
- 84 - Pedreira de granodiorito Caio Martins
- 85 - Blocos de dique E4A
- 86 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 87 - Blocos de dique E4A
- 88 - Metagabro com megacristais de plagioclásio estirados e orientados (associado ao Supergrupo Rio das Velhas)
- 89 - Blocos de dique E4A cortando granito leucocrático de grão grosso
- 90 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com megacristais de plagioclásio de 1-2cm
- 91 - Dique E4A, afanítico, cortando xistos da Formação Sabará
- 92 - Blocos de dique E4A
- 93 - Pedreira abandonada de migmatito
- 94 - Blocos de dique E4A, aparentemente cortando xistos da Formação Sabará
- 95 - Dique E4A, afanítico, com fenocristais de plagioclásio, cortando xistos da Formação Sabará
- 96 - Blocos de dique E4A

- 97 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com minerais finamente orientados
- 98 - Dique de aplito cortando rochas do Supergrupo Rio das Velhas
- 99 - Blocos de dique E4A, cortando rochas do Supergrupo Rio das Velhas
- 100 - Blocos de granito, grão fino, leucocrático
- 101 - Blocos de dique E4A
- 102 - Blocos de dique E4A
- 103 - Blocos de dique E2
- 104 - Blocos de rocha máfica, grão fino, levemente foliada, semelhante à dos pontos 77 e 78
- 105 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 106 - Blocos rocha anfibolítica em meio a saprólito de migmatito
- 107 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com megacristais de plagioclásio rotacionados de até 2cm
- 108 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B) com megacristais de plagioclásio rotacionados de até 2cm
- 109 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com megacristais de plagioclásio rotacionados de até 3cm
- 110 - Afloramento preservado de dique E4A em corte de estrada não-pavimentada
- 111 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com minerais bastante orientados
- 112 - Blocos de dique E4A
- 113 - Blocos de dique E5
- 114 - Blocos alterados de dique E4A
- 115 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 116 - Dique clástico (10m largura) quartzoso, com seixos de quartzo de até 2cm e grãos de feldspato potássico preservados
- 117 - Blocos de dique E4A
- 118 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 119 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 120 - Blocos de dique E2
- 121 - Blocos de dique E4A
- 122 - Blocos de dique E4B
- 123 - Blocos de dique E4B
- 124 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 125 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 126 - Blocos de dique E4B
- 127 - Blocos de dique E4B
- 128 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 129 - gnaiss
- 130 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) ao longo do alinhamento de uma falha normal, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 131 - Blocos de dique E4A junto a blocos de dique anfibolítico (E3C), num ponto de cruzamento de diques das diferentes gerações
- 132 - Blocos de dique E4A
- 133 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 134 - Blocos de dique E4A
- 135 - Blocos de dique E4A
- 136 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 137 - Blocos de granito leucocrático foliado
- 138 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 139 - Blocos de dique E4A porfírico, com fenocristais de plagioclásio de até 2cm

- 140 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 2cm
- 141 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 2cm
- 142 - Blocos de dique máfico não metamorfisado
- 143 - Pedreira de gnaiss migmatítico
- 144 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 145 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 146 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 147 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) com megacristais de plagioclásio rotacionados de até 2cm
- 148 - Blocos de dique anfibolítico (E3C) junto a blocos de granito semelhante ao do ponto 10
- 149 - Blocos de granito róseo foliado
- 150 - Afloramento preservado, em uma drenagem, de um dique E4A em contato com migmatito com remobilizados graníticos
- 151 - Dique E2 cortando um anfibolito foliado associado ao Supergrupo Rio das Velhas
- 152 - Afloramento de granito leucocrático foliado
- 153 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 154 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 155 - Blocos de hornblendito associado ao Supergrupo Rio das Velhas
- 156 - Granito fino foliado
- 157 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 158 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de 1-3cm
- 159 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 160 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de 2cm
- 161 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 162 - Afloramento preservado de granito leucocrático foliado
- 163 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de 2cm
- 164 - Blocos de dique anfibolítico (E3C), com megacristais de plagioclásio (1-3cm) rotacionados
- 165 - Dique E4A (blocos, amostra 165A) cortando dique anfibolítico (E3C, amostra 165B) e ambos cortando granito que se apresenta leucocrático, foliado, em afloramento preservado
- 166 - Blocos de dique anfibolítico (E3C), com megacristais de plagioclásio, de até 3cm, rotacionados
- 167 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 168 - Falha vertical afetando um granito, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 169 - Blocos de dique E4A
- 170 - Lentes de anfibolito boudinado inserido em migmatito
- 171(=191) - Blocos dique E4A
- 172 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 173 - Pedreira de migmatito com zonas de cisalhamento verticais
- 174 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 10cm
- 175 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 10cm
- 176 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 177 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 178 - Dique clástico quartzoso, de 1m de largura, inserido em migmatito
- 179 - Dique clástico, de 10m de largura, que se apresenta na forma de blocos quartzosos contendo seixos de quartzo e feldspato e níveis conglomeráticos
- 180 - Anfibolito cortado por veios quartzo-feldspáticos centimétricos
- 181 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 182 - Anfibolito cortado por veios quartzo-feldspáticos centimétricos

- 183 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 184 - Blocos de dique E2
- 185 - Blocos de dique E4A
- 186 - Metaultramáfica pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas
- 187 - Anfibolito
- 188 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 189 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 190 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 191 - idem ponto 171
- 192 - Blocos de dique E4A
- 193 - Blocos de dique E4A
- 194 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 195 - Blocos de dique E5
- 196 - Afloramento de granito muito fino e foliado
- 197 - Afloramento de dique anfibolítico (E3C)
- 198 - Blocos de dique E4A
- 199 - Anfibolito inserido em migmatito
- 200 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm
- 201 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 202 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm
- 203 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 204 - Blocos de dique E4A
- 205 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm
- 206 - Migmatito
- 207 - Migmatito
- 208 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 209 - Blocos de dique E2
- 210 - Rocha anfibolítica
- 211 - Blocos de dique E4A
- 212 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 213 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 214 - Rocha máfica, grão fino, levemente foliada, semelhante à dos pontos 77 e 78
- 215 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 5cm
- 216 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 217 - Blocos de dique E2
- 218 - Granito leucocrático
- 219 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 220 - Blocos de dique E2
- 221 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 3cm, em corte de estrada
- 222 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 3cm, cruzando um gnaiss em corte de estrada
- 223 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 3cm
- 224 - Granito leucocrático. Nas proximidades, há um solo vermelho escuro de alteração de dique máfico
- 225 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 226 - Granito leucocrático
- 227 - Blocos de dique E2
- 228 - Pedreira de migmatito

- 229 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 230 - Blocos de dique E4A
- 231 - Blocos de dique E2
- 232 - Granitóide foliado
- 233 - Blocos de dique E4A
- 234 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 235 - Blocos de dique E2
- 236 - Blocos de dique E4A
- 237 - Granitóide foliado
- 238 - Granitóide foliado
- 239 - Blocos de dique E5
- 240 - Blocos de dique E2
- 241 - Blocos de dique E2
- 242 - Blocos de dique E2
- 243 - Blocos de dique E2
- 244 - Dique clástico de 7m de largura, contendo porções conglomeráticas e areníticas.
- 245 - Blocos de dique E2
- 246 - Granitóide foliado
- 247 - Saprólito avermelhado de dique máfico
- 248 - Saprólito avermelhado de dique máfico, verticalizado, cortando saprólito rosa da encaixante gnáissica
- 249 - Blocos de dique E4A
- 250 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 251 - Blocos de dique E2
- 252 - Blocos de dique E2
- 253 - Migmatito
- 254 - Blocos de dique E4A
- 255 - Lagedo onde aflora um dique E4A
- 256 - Dique E6 em corte de estrada
- 257 - Saprólito avermelhado de dique máfico
- 258 - Blocos de dique E4A
- 259 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 260 - Blocos de dique E4A
- 261 - Blocos de dique E4A
- 262 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 263 - Blocos de dique E4A
- 264 - Saprólito avermelhado de dique máfico
- 265 - Migmatito afetado por falhas verticais, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 266 - Migmatito
- 267 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 268 - Dique máfico E4A sob uma ponte
- 269 - Blocos de dique E4A
- 270 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 271 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 272 - Granitóide leucocrático
- 273 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos, contendo granadas
- 274 - Dique E4A contendo diferenciado félsico rico em plagioclásio
- 275 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 276 - Gnaisse

- 277 - Saprólito avermelhado de dique máfico
- 278 - Gnaiss
- 279 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 280 - Blocos de dique E4A
- 281 - Blocos de dique E5
- 282 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 283 - Dique E2 em corte de estrada, com blocos preservados em meio a solo avermelhado de alteração
- 284 - Dique E2 em corte de estrada, com blocos preservados em meio a solo avermelhado de alteração
- 285 - Blocos de dique E4A
- 286 - Bloco de 2m de dique E4A em meio a seu saprólito, em corte de estrada
- 287 - Blocos de dique E4A
- 288 - Dique E6, com blocos preservados
- 289 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico. Nas proximidades, há um saprólito avermelhado de dique máfico em corte de estrada
- 290 - Blocos de dique E2
- 291 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 292 - Blocos de dique E2
- 293 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 2cm
- 294 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 295 - Dique E4A em corte de estrada
- 296 - Dique E4A em corte de estrada
- 297 - Dique E4A em corte de estrada
- 298 - Saprólito avermelhado de dique máfico nas proximidades de um migmatito
- 299 - Saprólito avermelhado de dique máfico, com poucos blocos alterados
- 300 - Saprólito avermelhado de dique máfico
- 301 - Dique E2 com amígdalas verdes milimétricas
- 302 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 3cm
- 303 - Blocos de dique E4A porfirítico, com fenocristais de plagioclásio de até 3cm
- 304 - Migmatito
- 305 - Dique E5, com diferenciado félsico rico em plagioclásio
- 306 - Dique E5, também com diferenciado félsico rico em plagioclásio (mesmo dique do ponto 305)
- 307 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 308 - Dique E5 em corte de estrada
- 309 - Blocos de dique E4A
- 310 - Blocos de dique E5
- 311 - Blocos de dique E4A
- 312 - Blocos de dique E5
- 313 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 314 - Blocos de dique E1
- 315 - Blocos de dique E2, com alguns fenocristais de plagioclásio de 1cm
- 316 - Blocos de dique E1
- 317 - Blocos de dique E4A. Nas proximidades, são encontradas rochas charnockíticas de coloração esverdeada
- 318 - Blocos de dique E4A, em meio a saprólito avermelhado do mesmo
- 319 - Afloramento de dique E4A em corte de estrada
- 320 - Pequena pedreira de charnockito

- 321 - Dois diques E3C verticais, paralelos (amostras 321 e 321 A)
- 322 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 323 - Blocos de dique E1
- 324 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 325 - Blocos de dique E4A
- 326 - Blocos de dique E4A
- 327 - Blocos de dique E4A
- 328 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 329 - Blocos de dique anfibolítico (E3C), com megacristais de plagioclásio de 1-3cm rotacionados
- 330 - Afloramento de dique E3A (não-metamorfisado) em corte de estrada
- 331 - Dique E1 em contato com migmatito em corte de estrada
- 332 - Dique E2 em corte de estrada
- 333 - Dique E4A em corte de estrada
- 334 - Dique E4A em corte de estrada
- 335 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 336 - Blocos de dique E4A
- 337 - Blocos de dique E4A
- 338 - Saprólito avermelhado de dique máfico, verticalizado, cortando saprólito rosa da encaixante gnáissica, em corte de estrada
- 339 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 340 - Dique E4A em corte de estrada
- 341 - Blocos de dique E4A
- 342 - Blocos de dique E4A
- 343 - Blocos de dique E5
- 344 - Saprólito avermelhado de dique máfico, com poucos blocos alterados
- 345 - Saprólito avermelhado de dique máfico, com poucos blocos alterados
- 346 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 347 - Blocos de dique E4A
- 348 - Blocos de dique E5
- 349 - Dique E4A aflorando em um pequeno lajedo
- 350 - Blocos de dique E2
- 351 - Dique E4A em corte de estrada
- 352 - Blocos de rocha metaultramáfica
- 353 - Blocos de dique E4A
- 354 - Blocos de dique E4A
- 355 - Blocos de rocha metaultramáfica
- 356 - Saprólito avermelhado de dique máfico, verticalizado, em corte de estrada
- 357 - Dique E4A em corte de estrada
- 358 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 359 - Dique E4A em corte de estrada
- 360 - Blocos de dique E4A
- 361 - Blocos de dique E4A
- 362 - Blocos de dique E4A
- 363 - Blocos de rocha metaultramáfica
- 364 - Blocos de dique E2
- 365 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 366 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzítico
- 367 - Blocos de dique E4A

- 368 - Dique E4A aflorando em drenagem. Nítido contato com gnaiss, mostrando feições de fluxo magmático
- 369 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzítico
- 370 - Blocos de dique E4A
- 371 - Anfibolito inserido em migmatito
- 372 - Falha vertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 373 - Blocos de dique E5
- 374 - Blocos de dique parcialmente metamorfisado (E3B)
- 375 - Blocos de dique E3A (não-metamorfisado)
- 376 - Blocos de dique E5
- 377 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 378 - Blocos de dique E4A
- 379 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 380 - Rocha metaultramáfica
- 381 - Blocos de dique E4A
- 382 - Rocha metaultramáfica
- 383 - Blocos de dique E5
- 384 - Dique E4A em corte de estrada
- 385 - Dique E4A em corte de estrada
- 386 - Dique E4A em corte de estrada, com blocos muito alterados
- 387 - Rocha metaultramáfica
- 388 - Blocos de dique E5
- 389 - Blocos de dique E4A
- 390 - Blocos de dique E4A
- 391 - Blocos de dique E4A
- 392 - Blocos de dique E4A
- 393 - Blocos de dique E5
- 394 - Blocos de dique E5
- 395 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 396 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 397 - Blocos de dique E2
- 398 - Blocos de dique E4A
- 399 - Blocos de dique anfibolítico (E3C), com megacristais de plagioclásio de 1-3cm rotacionados
- 400 - Blocos de dique anfibolítico (E3C), com megacristais de plagioclásio de 1-3cm rotacionados
- 401 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 402 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 403 - Blocos de dique anfibolítico (E3C)
- 404 - Dique E4A em drenagem
- 405 - Rocha anfibolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 406 - Blocos de dique E4A
- 407 - Blocos de dique E4A
- 408 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 409 - Blocos de dique E5
- 410 - Blocos de dique E5
- 411 - Blocos de dique E5
- 412 - Falha subvertical, cujo material é um cataclasito quartzo-sericítico
- 413 - Blocos de dique E5

- 414 - Blocos de dique E4A
- 415 - Blocos de dique E4A
- 416 - Blocos de dique E4A
- 417 - Blocos de dique E5
- 418 - Blocos de dique anfíbolítico (E3C)
- 419 - Blocos de dique E4A
- 420 - Blocos de dique E5, próximo a uma pedreira de gnaiss
- 421 - Blocos de dique E5
- 422 - Blocos de dique E5
- 423 - Blocos de dique E4A
- 424 - Blocos de dique E2
- 425 - Blocos de dique E5
- 426 - Saprólito de dique máfico avermelhado
- 427 - Rocha anfíbolítica cortada por veios quartzosos centimétricos
- 428 - Blocos de dique E4A
- 429 - Blocos de dique E4A
- 430 - Blocos de dique E5, cortando rocha charnockítica
- 431 - Blocos de dique E4A
- 432 - Blocos de dique E4A
- 433 - Blocos de dique E2. Nas proximidades, há uma drenagem que expõe rocha gnáissica
- 434 - Blocos de dique E2
- 435 - Blocos de dique E4A
- 436 - Blocos de dique E2
- 437 - Blocos de dique E4A
- 438 - Blocos de dique E2
- 439 - Blocos de dique E2
- 440 - Blocos de dique E4A
- 441 - Blocos de dique E2
- 442 - Blocos de dique E2
- 443 - Blocos de dique E2
- 444 - Blocos de dique E4A

Obs.: A cobertura Bambuí foi percorrida em toda a sua extensão no interior da área delimitada pelo mapa do anexo III, não tendo sido encontrados afloramentos de diques máficos cruzando-a, confirmando dados da literatura regional.

ANEXO III

**Mapa geológico dos
enxames de diques máficos do
setor sul do Cráton do São Francisco**

ENXAMES DE DIQUES MÁFICOS DO SETOR SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO - MG