

PETROGRAFIA E LITOQUÍMICA DE DIQUES MÁFICOS MESOZOICOS E CAMBRIANOS(?) DE MINAS GERAIS: COMPARAÇÕES COM BASALTOS DA PROVÍNCIA PARANÁ-ETENDEKA E COM DIQUES DA SUÍTE FUNDÃO

Raphael Martins Coelho¹, Alexandre de Oliveira Chaves¹

1 Instituto de Geociências - Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, CEP 31270-901
E-mail: raphaelmcoelho@yahoo.com.br; alex2010@ufmg.br

Recebido em 2 de junho de 2016; aceito em 11 de setembro de 2016

Resumo: Minas Gerais (MG) guarda diversas gerações de diques máficos, com idade desde o Paleoproterozoico ao Cretáceo. Datam do Cretáceo os enxames de diques Transminas e Serra do Mar, e há possíveis representantes do Cambriano denominados Suíte Fundão, descrita no estado vizinho do Espírito Santo (ES). Macroscopicamente, todas estas rochas são semelhantes entre si, sendo diabásios de granulação fina. Microscopicamente, são hipo- a holocristalinas com textura subofítica. Os diques cretáceos são olivina gabros/olivina basaltos (assim como os basaltos da província Paraná-Etendeka), enquanto que os cambrianos são gabro noritos. Litoquimicamente, todos estes diques são basaltos toleíticos com algum grau de contaminação crustal, sendo os cretáceos de alto Ti e os cambrianos de baixo Ti. Apenas dois diques entre os diques estudados, pertencentes ao enxame Serra do Mar, são andesitos traqui-basálticos alcalinos. Os diagramas de elementos incompatíveis e elementos terras raras dos diques cretáceos mostram semelhanças com os da província Paraná-Etendeka, seguindo o padrão OIB, típico de plumas mantélicas. Os diques cretáceos de MG correlacionam-se geocronológica, petrográfica e litoquimicamente aos basaltos da província Paraná-Etendeka. Este magmatismo cretáceo deriva de uma fonte do tipo granada lherzolito, relacionada ao contexto geodinâmico possivelmente ligado à atividade da pluma mantélica de Tristão da Cunha. Já os diques cambrianos, tanto em MG quanto no ES, são petrográfica e litoquimicamente semelhantes entre si e guardam assinatura de basaltos enriquecidos de assoalho oceânico. Os diques da Suíte Fundão derivam de uma fonte do tipo espinélio lherzolito e estariam relacionados ao colapso gravitacional do Orógeno Araçuai.

Palavras Chave: Diques máficos de Minas Gerais, Petrografia, Litoquímica, Cretáceo, Cambriano.

Abstract: PETROGRAPHY AND LITHOCHEMISTRY OF MESOZOIC AND CAMBRIAN (?) MAFIC DYKES FROM MINAS GERAIS: COMPARISON WITH ROCKS OF THE PARANA-ETENDEKA PROVINCE AND FUNDÃO SUITE. Minas Gerais (MG) keeps several generations of mafic dykes, dating from the Paleoproterozoic to the Cretaceous. From Cretaceous, there are the Transminas and Serra do Mar dyke swarms, and also there are possible representatives of the Cambrian, termed Fundão Suite, which is already described in Espírito Santo (ES). Macroscopically, all of those rocks are similar to each other being fine-grained grey dolerites. Microscopically, all of those rocks show subophitic texture. However, cretaceous dykes are olivine gabbros/olivine basalts and Cambrian dykes are gabbro norites. Lithochemically, all of these dykes are tholeiitic basalts with some degree of crustal contamination, and the Cretaceous are high Ti and the Cambrian are low Ti. Only two dykes belonging to the Serra do Mar swarm are alkaline trachybasaltic andesites. The spidergrams of incompatible and rare earth elements of the Cretaceous dykes show similarities with basalts of the Paraná-Etendeka province, following the OIB pattern, typical of mantle plumes. The Cretaceous dykes of MG correlate geochronologically, petrographic and lithochemically to the basalts of Paraná-Etendeka province. This Cretaceous magmatism derived from a garnet lherzolite source, related to the geodynamic context possibly linked to the activity of Tristan da Cunha mantle plume. The Cambrian dykes, both in MG and in ES, are petrographic and lithochemically similar to each other and show a signature of enriched ocean ridge basalts. Dykes of the Fundão Suite derived from a spinel lherzolite source and are related to the gravitational collapse of Araçuai Orogen.

Keywords: Mafic dyke swarms of Minas Gerais, petrography, lithochemistry, Cretaceous, Cambrian.

1. INTRODUÇÃO

A província ígnea Paraná-Etendeka, de idade U-Pb entre 135 e 133 Ma (Renne *et al.*, 1992; Pinto *et al.*, 2011), é uma das grandes províncias ígneas gigantes do mundo (Large Igneous Provinces - LIPs). Ela representa o intenso evento magmático relacionado à ruptura e dispersão da parte ocidental do supercontinente Gondwana durante o Cretáceo. Esta LIP ocupa o sul, centro-oeste e sudeste brasileiro, parte da Argentina e Uruguai (Paraná) e, com menor volume de material magmático, parte da Namíbia (Etendeka). White e McKenzie (1989) sugeriram que a pluma mantélica Tristão da Cunha é a responsável pela anomalia termal que levou à ruptura local do referido supercontinente (Figura 1B), gerando a abertura do Oceano Atlântico Sul,

sugestão esta corroborada por Renne *et al.* (1992), O'Connor *et al.*, (1990), Harry *et al.* (1992), Valente *et al.* (2007, 2009), Almeida *et al.* (2013) e Chaves (2014). As rochas basálticas deste magmatismo são um importante marcador estratigráfico para as bacias marginais brasileiras produtoras de petróleo, estando estas rochas abaixo dos estratos de potencial econômico das bacias de Campos e Santos (Winter *et al.* 2007; Moreira *et al.* 2007). Nestes sistemas petrolíferos são consideradas boas rochas selantes, e em alguns casos, como reservatórios não convencionais de petróleo.

No continente sul-americano, as rochas que compõem a LIP Paraná-Etendeka ocorrem como extensos campos de lavas basálticas, com riolitos e riolitos subordinados da Formação Serra Geral e diques máficos associados (Fig. 1A).

doi: 10.18285/geonomos.v24i1.826

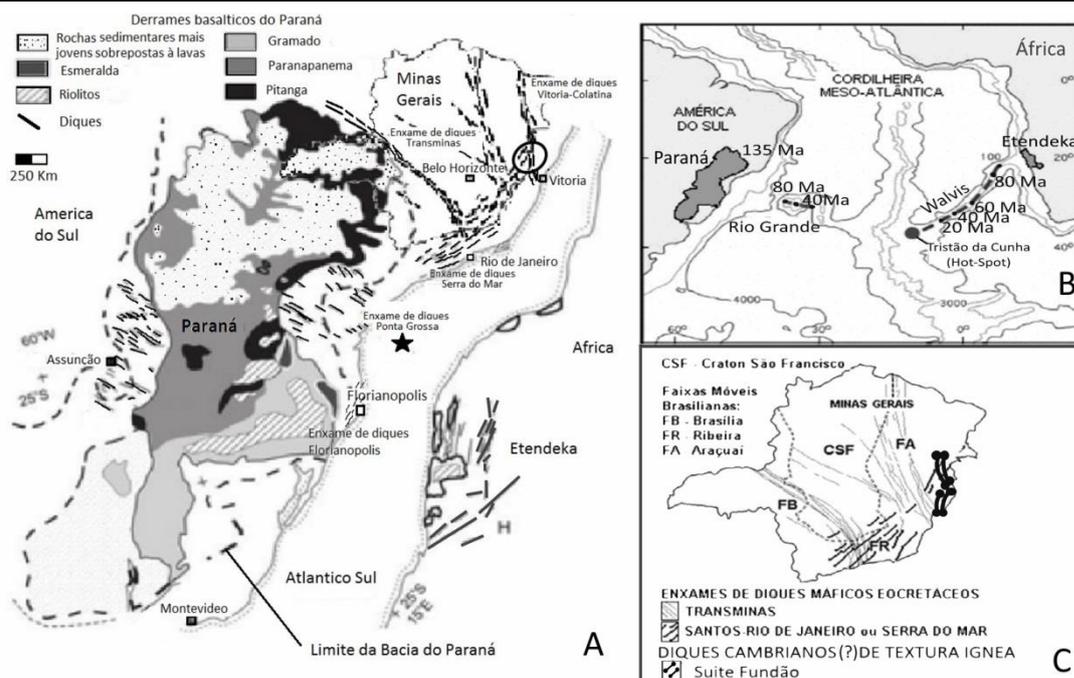


Figura 1. (A) - Paleogeografia da LIP Paraná-Etendeka e seus diques máficos mesozóicos associados no panorama da abertura inicial do Oceano Atlântico Sul. A estrela representa a possível posição da cabeça da pluma mantélica (Peate et al 1992, modificado) diques máficos cambrianos de textura ígnea da Suite Fundão estão localizados na figura pela elipse. (B) - Configuração atual da LIP Paraná-Etendeka e posição do Hot-Spot Tristão da Cunha (White e McKenzie, 1989).

Petrograficamente, as rochas basálticas da LIP Paraná-Etendeka são holo ou hipocrystalinas afaníticas, de coloração cinza, com tons esverdeados e avermelhados, textura intergranular a intersertal (presença de vidro), às vezes vesiculares e amigdaloidais. Seus constituintes minerais são plagioclásio, piroxênio (augita e pigeonita) e olivina. Magnetita, ilmenita, sulfetos e apatita são minerais acessórios (Bellieni et al., 1984). Litoquimicamente, são basaltos toleíticos e Peate et al. (1992) definem 6 tipos magmáticos para os derrames basálticos da LIP Paraná-Etendeka. Peate (1997) agrupa os tipos de magma levando em consideração não apenas a quantidade de titânio, mas outras similaridades geoquímicas como as razões Ti/Zr, Ti/Y e Zr/Y. Desta forma, os tipos magmáticos foram agrupados, por este autor, do seguinte modo: compondo o grupo dos basaltos de alto titânio (High Titanium Basalts - HTiB), estão os tipos magmáticos Ribeira, Paranapanema, Pitanga e Urubici; compondo o grupo dos basaltos de baixo titânio (Low Titanium Basalts - LTiB), estão os tipos magmáticos Gramado e Esmeralda. A tabela 1 apresenta estes tipos magmáticos e suas características.

Também mostrados na figura 1A, os diques máficos da LIP Paraná-Etendeka se agrupam nos enxames Ponta Grossa (134 Ma - idade média de dados K-Ar/Ar-Ar da literatura calculada por Tomba, 2012), Serra do Mar (134 Ma – idade média de dados K-Ar/Ar-Ar da literatura calculada por Tomba, 2012; 124 Ma, Ar-Ar, Coelho et al 2016 submetido), Transminas (130 Ma, Ar-Ar, Rosset et al., 2007; 135 Ma, Ar-Ar, Coelho et al 2016 submetido), Florianópolis (134 Ma, U-Pb, Florisbal et al., 2011) e Vitoria-Colatina (128-136 Ma, Ar-Ar, Novais et al., 2004).

O enxame Serra do Mar é pobremente descrito em Minas Gerais e poucos trabalhos da literatura descrevem a sua petrografia e litoquímica (Silva et al. 1995, Pinese 1997). Já os diques do enxame Transminas foram preliminarmente investigados neste ponto de vista por Chaves (2014). Os diques destes enxames aflorantes em Minas Gerais (Figura 1C) são os objetos de estudo do presente trabalho e guardam semelhanças petrográficas e litoquímicas com os demais enxames de diques e derrames basálticos da LIP Paraná-Etendeka.

Tabela 1. Tipos magmáticos da LIP Paraná-Etendeka e suas características litoquímicas (Peate, 1997).

	Baixo titânio (LTiB)		Alto titânio (HTiB)			
Índice	Gramado	Esmeralda	Ribeira	Pitanga	Paranapanema	Urubici
TiO ₂	≤ 2%	2%	≤ 2%	~2%	2-3%	>3%
Ti/Y	<310	<310	>310	>350	>330	>500
Ti/Zr	<70	>60	>65	>60	>60	>57
Zr/Y	3,5-6,5	2,0-5,0	3,5-7,0	>5,5	4,0-7,0	>6,5
Sr/Y	<13	<9	5,0-17	>14	4,5-15	>14
Ba/Y	<19	<12	6,0-19	>14	5,0-19	>14

No Estado do Espírito Santo, há uma série de lineamentos estruturais de direção NNW chamados de Feixe de Fraturas Colatina (Belém, 2014), "Alinhamento Vitória-Ecoporanga" (Silva *et al.* 1987) ou "Faixa Vitória-Colatina" (Novais *et al.* 2004). Ao longo destes lineamentos são encontrados os diques cretáceos Vitória-Colatina, contendo olivina (Novais *et al.* 2004). Ao Feixe de Fraturas Colatina, associam-se outros diabásios de textura fanerítica fina, mineralogicamente compostos por plagioclásio, orto e clinopiroxênio, sem olivina e com assinatura toleítica. Aparentemente, estes diques afloram com maior frequência nas proximidades das cidades de Santa Teresa e Fundão do referido estado. Estes diques, denominados Suíte Fundão por Belém (2014), foram datados pelo método U-Pb por esta autora entre 520 e 490 Ma. Durante a execução do presente trabalho, foram encontrados no leste de Minas Gerais diques máficos com características petrográficas e litoquímicas muito semelhantes às dos diques da Suíte Fundão descritas por Belém (2014).

O objetivo deste trabalho é apresentar os dados petrográficos e litoquímicos dos enxames de diques Transminas e Serra do Mar do Cretáceo, bem como de possíveis diques cambrianos da Suíte Fundão, todos eles investigados em Minas Gerais. Estes dados serão confrontados entre si na busca de serem estabelecidas conexões geológicas dos diques

cretáceos de Minas Gerais com as demais rochas máficas da LIP Paraná-Etendeka, bem como as possíveis correlações entre os diques cambrianos da Suíte Fundão e os similares do leste de Minas Gerais.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

O Estado de Minas Gerais guarda diversas gerações de diques máficos, que datam desde o Paleoproterozoico ao Cretáceo (Chaves, 2013), destacando-se notavelmente por imagens magnetométricas conforme apresentado na figura 2. Os representantes do magmatismo cretáceo em Minas Gerais são os diques máficos Serra do Mar e Transminas. Possivelmente, há diques cambrianos da Suíte Fundão em Minas Gerais.

Os diques Serra do Mar intrudem rochas do Orógeno Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004; Schmitt *et al.*, 2004) de idade Neoproterozoico/Cambro-Ordoviciano e rochas Arqueano/Paleoproterozoicas do extremo sul do Cráton São Francisco (Figura 1C), com direção predominante NE. Valente (1997) e Dutra (2006) mostraram que as rochas que constituem este enxame no Estado do Rio de Janeiro são compostas, essencialmente, por plagioclásio, clinopiroxênio e olivina. Litoquimicamente, os diques Serra do Mar são basaltos toleíticos que podem ser divididos em suítes de alto titânio e baixo titânio indicando semelhanças com os basaltos da LIP Paraná-Etendeka (Corval, 2005).

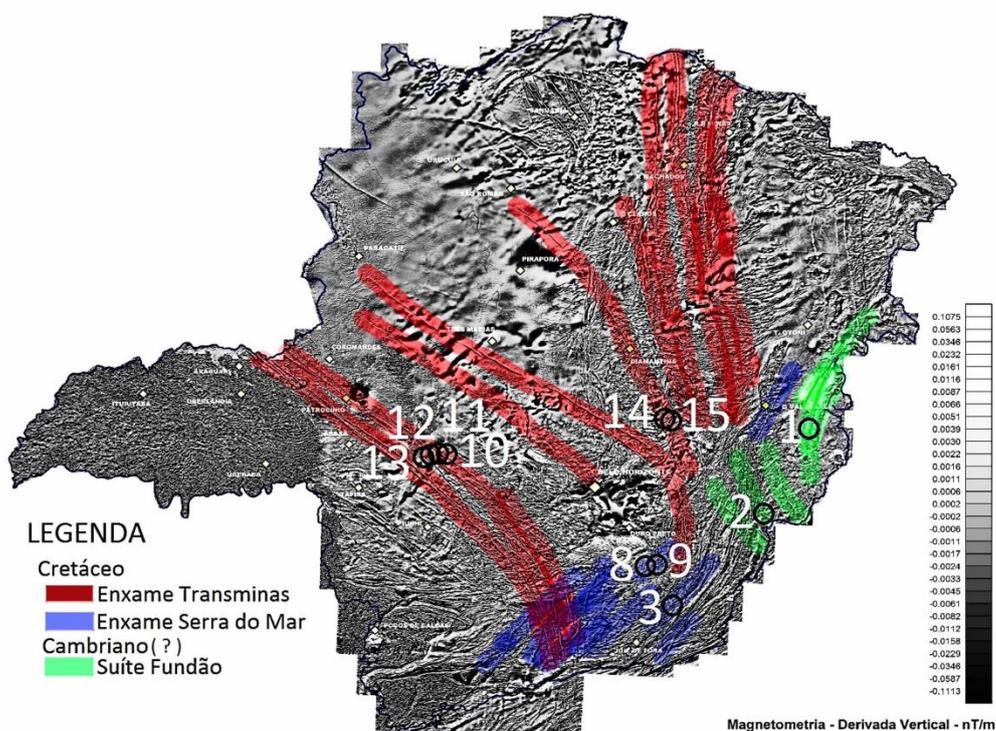


Figura 2. Mapa magnetométrico do Estado de Minas Gerais, destacando os lineamentos que correspondem aos diques máficos cretáceos e cambrianos. Símbolos indicam os pontos de coletas das amostras (Borges, 2011, modificado).

Nos trabalhos de mapeamento do Projeto Leste de Minas (MG), Tuller (2000), Oliveira (2000) e Noce (2007) atribuem idades juro-cretáceas a estes diques, os quais possuem escassa caracterização petrográfica e, até o momento, não foram caracterizadas quanto a sua litoquímica.

O enxame denominado Transminas (Chaves e Neves, 2005, Chaves, 2013) atravessa todo o Estado de Minas Gerais e parte do estado de Goiás (Rocha, 2013), com direções NW e NNW para seus diques, os quais alcançam mais de 850 km de extensão. Os diques Transminas atravessam o Cráton do São Francisco e suas coberturas pré-neocretáceas, como também as Faixas Móveis brasileiras Brasília, Ribeira e Araçuaí (Figura 1C). Suas rochas são diabásios com textura ofítica a subofítica. Quanto aos constituintes minerais, possuem plagioclásio, clinopiroxênio, olivina (em substituição para iddingsita), ilmenomagnetita e apatita. Litoquimicamente, de acordo com Chaves (2014), os diques Transminas são basaltos toleíticos intra-placa de alto-titânio.

Próxima ao Estado de Minas Gerais, a Suíte Fundão descrita por Belém (2014) no Estado do Espírito Santo é composta por um conjunto de diques máficos inseridos no feixe de fraturas Vitória-Colatina que, embora possam mostrar inflexão para outras direções, possuem direção principal NNW-SSE. Petrograficamente são basaltos, diabásios e gabros de composição mineral muito uniforme. As rochas destes diques apresentam, em geral, matriz inequigranular predominantemente constituída por cristais subédricos de plagioclásio, ortopiroxênio e clinopiroxênio. Apatita, zircão e minerais opacos (ilmenita e magnetita) são acessórios. Vidro e óxidos de Fe-Mg-Ti ocorrem nos interstícios entre os cristais de plagioclásio e piroxênio. Litoquimicamente são rochas que classificam-se como basaltos e andesitos basálticos toleíticos de baixo Ti, de médio e baixo potássio. De idade entre 520 Ma e 490 Ma, originaram-se de fontes mantélicas enriquecidas, com marcante contribuição de componentes litosféricos (Belém 2014).

3. METODOLOGIA

Foram coletadas amostras em campo e, dentre elas, selecionadas 11 de diferentes enxames de diques, sendo 6 do enxame Transminas, 3 do enxame Serra do Mar e 2 da Suíte Fundão em Minas Gerais (Fig. 2). Nos laboratórios do Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa (IGC/UFMG), foram feitas lâminas delgadas das amostras, as quais foram utilizadas nos estudos micropetrográficos em microscópio polarizador. Também nestes laboratórios, as amostras selecionadas para os estudos litoquímicos foram pulverizadas em moinho de panela e, em seguida, enviadas ao Laboratório SGS-Geosol. Ali, os elementos maiores e cinco

elementos traços (Ba, Nb, Sr, Y, Zr) foram analisados por ICP-OES (espectrometria de emissão ótica e plasma acoplado indutivamente). Ni, Rb, U, Th, Ta, Hf e elementos terras-raras foram analisados por ICP-MS (espectrometria de massas e plasma acoplado indutivamente). A perda ao fogo ocorreu por diferença de peso após aquecimento a 1000°C.

Para a comparação petrográfica e litoquímica com as rochas do presente trabalho, entre as rochas cambrianas foram escolhidas amostras da Suíte Fundão estudadas por Belém (2014) no Espírito Santo, datadas pelos métodos U-Pb (amostras JB8-1, JB14-1 e JB20c). Entre as rochas do Cretáceo, foram escolhidas as amostras de alto titânio da LIP Paraná-Etendeka disponíveis em Peate (1997) (amostras DUP35: tipo Urubici e CB1110: Tipo Pitanga).

4. RESULTADOS

4.1. Petrografia

Macroscopicamente, as rochas dos enxames Transminas, Serra do Mar e Suíte Fundão em Minas Gerais são bastante semelhantes e correspondem a diabásios isotrópicos de granulação fina a muito fina, de cor cinza escuro a cinza esverdeado. Microscopicamente, todos os enxames guardam rochas holo a hipocristalinas com textura ígnea subofítica. Entretanto, há importantes diferenças mineralógicas entre os diques cretáceos e cambrianos.

As rochas possivelmente similares às da Suíte Fundão em Minas Gerais são compostas essencialmente por ortopiroxênio (mineral que não ocorre nos diques cretáceos), clinopiroxênio e plagioclásio, sem olivina (Fig. 3A e 3B), sendo classificadas como gabro noritos. Os cristais de ortopiroxênio são incolores sob polarizadores descruzados. Sob polarizadores cruzados, são observadas cores de interferência cinzas de primeira ordem e extinção paralela. Os cristais de clinopiroxênio são rosados sob polarizadores descruzados e mostram extinção oblíqua. Os cristais de plagioclásio não apresentam um sentido preferencial de orientação, exibindo geminação polissintética segundo a lei da albita. Os minerais acessórios são os opacos, apatita e zircão.

As rochas dos diques Transminas e Serra do Mar em Minas Gerais são compostas essencialmente por plagioclásio, clinopiroxênio e olivina, sendo classificadas como olivina gabros/olivina basaltos. Os cristais de plagioclásio apresentam contato reto entre os grãos e não apresentam um sentido preferencial de orientação, exibindo geminação polissintética segundo a lei da albita. Minerais de alteração como sericita preenchem algumas de suas microfaturas (Fig. 3F). Os cristais de clinopiroxênio mostram cores de interferência de segunda ordem a

polarizador cruzado, extinção oblíqua e alguns cristais são maclados (Fig. 3D, 3E, 3F). Estes cristais também apresentam microfaturas e em algumas delas observa-se pequenas ripas de biotita como produto de alteração. Os cristais de olivina, os quais não foram observados nas amostras da Suíte Fundão em Minas Gerais, são pequenos e arredondados, estão em quase sua totalidade substituídos por iddingsita (Fig. 3C e 3F). Os minerais acessórios são os opacos e apatita. Elas podem apresentar amígdalas preenchidas por clorita e quartzo, além de vestígios de vidro vulcânico (Fig. 3D).

4.2. Litoquímica

As composições químicas dos diques máficos Transminas, Serra do Mar e Suíte Fundão coletadas neste trabalho em Minas Gerais (Figura 2) estão apresentadas na tabela 2.

Os diques analisados são em sua maioria basaltos subalcalinos toleíticos, segundo os diagramas Total álcalis x sílica (TAS Le Maitre, 2002 Fig. 4A) e AFM

(Fig. 4B). Apenas as amostras 8 e 9 são andesitos traqui-basálticos de caráter alcalino no diagrama TAS. Mostram $\#Mg = 52$ para a amostra relativamente menos evoluída e de 40 para a relativamente mais evoluída.

As rochas dos diques Transminas e Serra do Mar possuem $TiO_2 > 2\%$ e, portanto, podem ser classificadas como rochas de alto Ti. Já as rochas da Suíte Fundão em Minas Gerais e no Espírito Santo possuem $TiO_2 < 2\%$, sendo assim classificadas como basaltos de baixo Ti.

Na tabela 2 podem ser verificadas diferenças químicas entre os diques Cretáceos e os aparentemente Cambrianos. Os diques do Cretáceo aqui investigados possuem Sr maior que 500 ppm, Ba maior que 550 ppm, Nb maior que 20 ppm, Ta maior que 1 ppm, Hf maior que 6 ppm e Zr maior que 250 ppm. As razões Zr/Y são em média 8,42, Sr/Y são em média 19,96 e Ba/Y são em média 19,25.



Figura 3. Fotomicrografias das amostras estudadas a polarizador cruzado, A: Amostra 1; B: Amostra 2; C: Amostra 3; D: Amostra 10; E: Amostra 14 e F: Amostra 8. Ol = Olivina, Pl = Plagioclásio, Cpx = Clinopiroxênio, Opx = Ortopiroxênio, Idd = iddingsita.

Tabela 2. Composição química dos diques máficos Transminas, Serra do Mar e da Suíte Fundão. Ferro total expresso como FeOt. Elementos maiores expressos em % peso e elementos traços e terras-raras em ppm. Número de magnésio (Mg#) calculado pela razão molar $[(MgO/40.31)/(MgO/40.31+FeOt*0.8998/71.85*0.85)*100]$ tAmostra de Chaves (2014)

Amostra	Cretáceo									Cambriano (?)	
	Serra do Mar			Transminas						Suíte Fundão	
	8	9	3	15	13	14 ¹	12	11	10	1	2
SiO ₂	52.51	52.67	50.76	50.35	51.74	50.33	50.38	49.35	50.12	51.84	51.48
TiO ₂	2.76	2.69	3.22	4.02	3.92	3.47	3.58	3.56	3.41	1.41	1.24
Al ₂ O ₃	14.53	14.25	13.53	13.22	13.05	13.05	13.95	13.31	13.92	14.93	14.95
FeOt	11.09	10.89	14.73	15.5	15.07	13.93	15.32	15.93	15.46	12.68	12.07
MgO	3.71	3.49	4.4	4.42	4.36	4.65	4.29	4.86	4.61	4.79	5.65
MnO	0.2	0.15	0.2	0.24	0.23	0.22	0.2	0.22	0.21	0.21	0.19
CaO	5.75	5.96	7.7	8.14	8.05	7.91	8.63	9.13	8.7	8.75	9.87
K ₂ O	3.42	3.01	1.88	1.89	1.85	1.72	1.68	1.69	1.63	1.04	0.96
Na ₂ O	3.26	2.97	2.95	2.67	2.65	2.62	2.95	2.92	2.82	2.67	2.45
P ₂ O ₅	0.83	0.77	0.45	0.69	0.67	0.55	0.42	0.45	0.43	0.15	0.11
LOI	1.81	1.22	0.81	0.39	0.39	0.32	0.46	0.47	0.56	0.31	0.69
Sum	99.87	98.07	100.63	101.54	101.98	98.78	101.87	101.89	101.87	98.77	99.67
#Mg	44	43	41	40	40	44	40	42	41	47	52
Ba	1117	999	642	664	612	545	560	579	552	322	285
Rb	88.6	92.2	43	37.5	37.5	45.9	35.3	37.1	35.6	62.8	25.7
U	1.7	2.18	1.06	1.03	0.98	0.98	0.97	0.97	1.02	1.2	0.61
Th	7.9	10	4.9	5.6	6	4.2	6.8	7.8	10.5	5	3.2
Nb	34	40.54	25.38	25.91	26.37	20.38	23.09	22.99	22.62	12.77	9.89
Ta	2.4	2.78	1.46	1.79	1.78	1.52	1.78	1.84	1.94	0.78	0.52
Sr	714	1006	702	690	684	540	693	809	709	242	274
Zr	347	343	279	273	266	283	276	274	412	106	77
Ni	28	16	54	37	34	81	58	63	62	40	49
Hf	7.84	10.24	6.26	7.15	7.16	6.85	7.28	7.37	10.04	3.08	2.5
Y	32.5	36.67	35.74	38.42	38.83	41.11	36.03	36.58	34.52	28.48	28.04
La	82.1	97.2	37.1	40.1	38.5	46.2	34.6	34.4	36.9	18.2	13.5
Ce	156	198.4	85.2	87.1	87.8	97.1	82.9	83.5	79.6	38.3	31.5
Pr	18.76	23.37	10.3	10.72	10.84	12.36	10.19	10.13	9.72	4.42	3.71
Nd	74.8	93.8	46.6	48.9	49.6	55	46	46.2	43.8	19.9	16.8
Sm	12.6	15.9	9.3	10.2	10.2	11.6	9.5	9.6	9	4.5	3.8
Eu	3.64	4.19	2.83	3.11	3.23	3.4	2.91	3.05	2.8	1.27	1.14
Gd	10.44	12.26	8.9	10.18	10.24	10.94	9.23	9.54	8.83	4.82	4.16
Tb	1.32	1.57	1.25	1.41	1.43	1.38	1.35	1.37	1.3	0.81	0.7
Dy	6.54	8.57	6.8	7.72	7.77	8.62	7.42	7.63	7.07	4.83	4.28
Ho	1.12	1.45	1.27	1.43	1.46	1.52	1.4	1.42	1.35	1	0.91
Er	3.02	3.81	3.35	3.76	3.8	4.24	3.68	3.71	3.52	2.85	2.67
Tm	0.32	0.4	0.45	0.48	0.48	0.52	0.5	0.5	0.47	0.4	0.39
Yb	2.4	3.1	2.7	2.9	2.9	3.3	3.1	3.1	2.9	2.5	2.4
Lu	0.18	0.26	0.38	0.4	0.4	0.25	0.43	0.43	0.4	0.37	0.38
Zr/Y	10,68	9,35	7,81	7,11	6,85	6,88	7,66	7,49	11,94	3,72	2,75
Sr/Y	21,97	27,43	19,64	17,96	17,62	13,14	19,23	22,12	20,54	8,50	9,77
Ba/Y	34,37	27,24	17,96	17,28	15,76	13,26	15,54	15,83	15,99	11,31	10,16
Coord.	Datum	WGS84									
Lat.	-20.954	-20.956	-21.310	-19.531	-19.600	-19.464	-19.566	-19.563	-19.560	-20.118	-19.132
Long.	-43.373	-43.372	-42.837	-43.071	-45.916	-43.109	-45.883	-45.863	-45.841	-41.935	-41.418

Já os diques aparentemente do Cambriano aqui estudados possuem Sr menor que 280 ppm, Ba menor que 330 ppm, Nb menor que 13, Ta menor que 1 ppm, Hf menor que 4 ppm e Zr menor que 110. As razões Zr/Y são em média 3,24, Sr/Y são em média 9,13 e Ba/Y são em média 10,74.

Em termos tectônicos, de acordo com o diagrama Ti-Zr-Y (Pearce e Cann, 1973, Fig. 5A), todas as amostras do enxame Transminas e Serra do Mar são basaltos intra-placa, enquanto que as

amostras da Suíte Fundão caem dentro do campo de basaltos de assoalho oceânico. Os dados são reforçados pelo diagrama Ti/Y versus Ni/Y (Pearce, 1982) que classifica as rochas do enxame Transminas e uma parte do Serra do Mar como basaltos toleíticos intra-placa e outra parte das rochas do enxame Serra do Mar como basaltos intra-placa transicionais. Já as amostras da Suíte Fundão classificam-se como basaltos de assoalho oceânico (mid ocean ridge basalts – MORB; Fig. 5B).

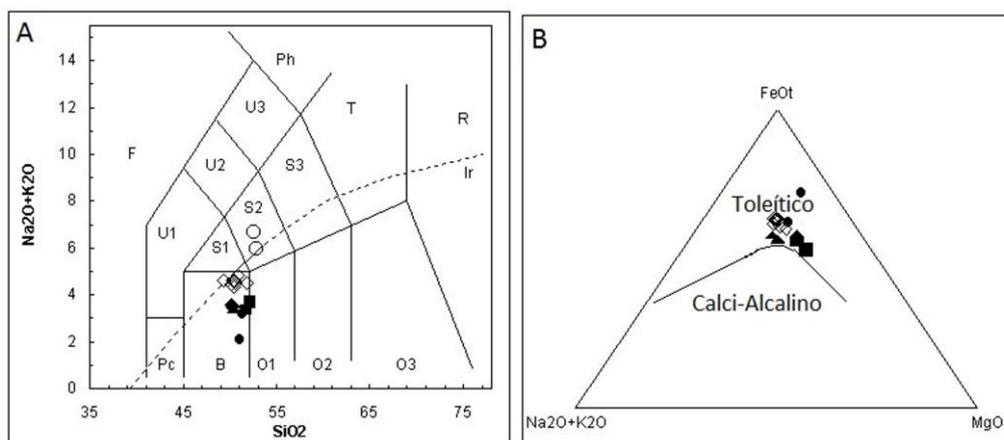


Figura 4. (A) – Diagrama Total Álcalis versus Sílica (TAS – Le Maitre, 2002). Os diques Transminas e Serra do Mar plotam essencialmente no campo dos basaltos -B- e se classificam como subalcalinos. As amostras 8 e 9 do enxame Serra do Mar plotam no campo dos andesitos traqui-básíticos, sendo alcalinas -S2. Linha tracejada (Ir) de Irvine e Baragar (1971) separa as rochas subalcalinas das alcalinas. (B) – Diagrama ternário AFM (álcalis-FeO-MgO – Irvine e Baragar, 1971). Os diques Transminas e Serra do Mar, com exceção das amostras 8 e 9, são toleíticos. Simbologia: Círculos cheios: Toleítos de Alto titânio da LIP Paraná-Etendeka*, Círculos vazios: diques alcalinos Serra do Mar, Losangos abertos: diques toleíticos Serra do Mar e Transminas, Quadrados: Suíte Fundão em Minas Gerais, Triângulos: Suíte Fundão no Espírito Santo**. * Dados de Peate (1997), ** Dados de Belém (2014).

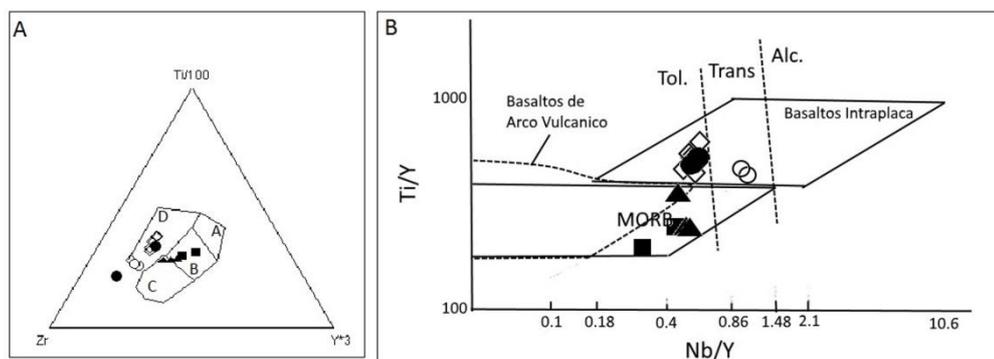


Figura 5. (A) – Diagrama ternário Zr-Ti/100-Y*3 (Pearce e Cann, 1973). Os diques Transminas e parte dos Diques Serra do Mar se classificam como basaltos intra-placa (campo D), e as amostras 1 e 2 no campo dos basaltos de assoalho oceânico (MORB - Campo B). A = toleítos de baixo K, C = basaltos cálcio-alcalinos. (B) - Diagrama Ti/Y versus Ni/Y (Pearce 1982) mostrando que os diques do Transminas são basaltos intra-placa toleíticos, e a diversidade de campos dos diques Serra do Mar. Simbologia: Círculos cheios: Toleítos de Alto titânio da LIP Paraná-Etendeka*, Círculos vazios: diques alcalinos Serra do Mar, Losangos abertos: diques toleíticos Serra do Mar e Transminas, Quadrados: Suíte Fundão em Minas Gerais, Triângulos: Suíte Fundão no Espírito Santo**. * Dados de Peate (1997), ** dados de Belém (2014).

O diagrama de elementos incompatíveis normalizado ao manto primitivo (Sun e McDonough, 1989) (Fig. 6A) mostra que o enxame Transminas e o enxame Serra do Mar seguem o padrão OIB (Ocean island basalts ou basaltos de ilhas oceânicas). Neste diagrama também foram lançadas amostras dos basaltos de alto Ti da LIP Paraná-Etendeka (amostras DUP35: tipo Urubici e CB1110: Tipo Pitanga; Peate, 1997), os quais assemelham-se aos dos diques Transminas e Serra do Mar (Figura 6A).

As amostras da Suíte Fundão (Fig. 6B) de Minas Gerais são similares àquelas do Espírito Santo, e seguem um padrão entre OIB e E-MORB (Enriched mid ocean ridge basalts ou basalto enriquecido de cadeia meso-oceânica), porém com um enriquecimento em Large Ion Lithophile Elements

(LILE) menos acentuado que aqueles dos diques cretáceos.

O padrão de elementos terras raras normalizado ao condrito (Sun e McDonough, 1989, Fig. 7) também mostra que as rochas analisadas dos enxames Serra do Mar e Transminas seguem o padrão OIB (Figura 7A) que é também notado nos basaltos de alto Ti da LIP Paraná-Etendeka de Peate (1997). Na figura 7B, as rochas da Suíte Fundão, tanto em Minas quanto no Espírito Santo, seguem o padrão do E-MORB, porém com enriquecimento em elementos terras raras leves (ETRL) maior que de E-MORBs típicos. As razões La/Yb normalizadas ao condrito para as amostras estudadas (tabela 3) evidenciam as diferenças entre as rochas cretáceas (La/Yb > 7) e as possivelmente cambrianas (La/Yb < 7).

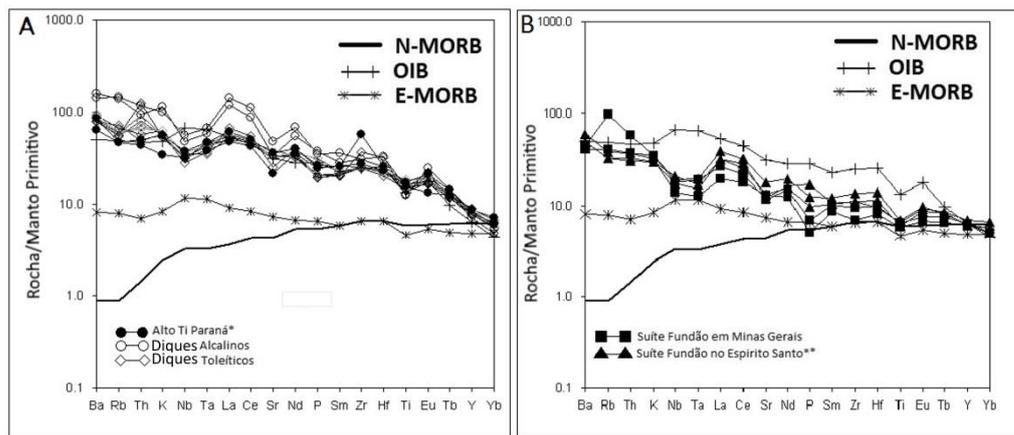


Figura 6. Diagrama multielementar dos elementos incompatíveis normalizados ao manto primitivo (Sun e McDonough, 1989) com as curvas de referência dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB) e basalto normal de cadeia meso-oceânica (N-MORB) e basalto enriquecido de cadeia meso-oceânica (E-MORB) (A) – Rochas do Cretáceo (B) – Rochas cambrianas. Simbologia: Círculos cheios: Toleítos de Alto titânio da LIP Paraná-Etendeka Círculos vazios: diques alcalinos Serra do Mar, Losangos abertos: diques toleíticos Serra do Mar e Transminas, Quadrados: Suíte fundão em Minas Gerais, Triângulos: Suíte Fundão no Espírito Santo**. * Dados de Peate (1997), ** dados de Belém (2014).

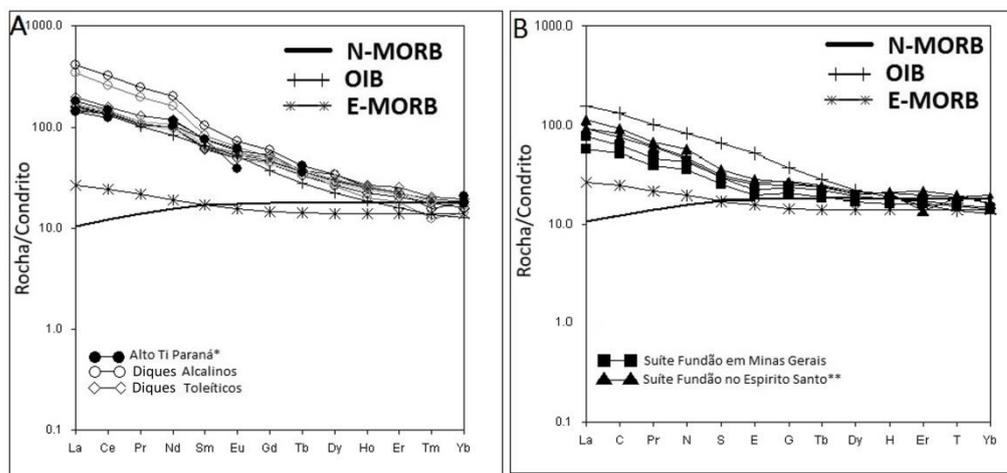


Figura 7. Elementos Terras Raras normalizado ao condrito (Sun e McDonough, 1989) com as curvas de referência dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB) e basalto normal de cadeia meso-oceânica (N-MORB) e basalto enriquecido de cadeia meso-oceânica (E-MORB) (A) – Rochas do cretáceo (B) – Rochas cambrianas. Simbologia Círculos cheios: Toleítos de Alto titânio da LIP Paraná-Etendeka*, Círculos vazios: diques alcalinos Serra do Mar, Losangos abertos: diques toleíticos Serra do Mar e Transminas, Quadrados: Suíte fundão em Minas Gerais, Triângulos: Suíte Fundão no Espírito Santo**. * Dados de Peate (1997), ** dados de Belém (2014).

Tabela 3. Razões La/Yb normalizadas das rochas cretáceas do enxame Serra do Mar, Transminas, basaltos de alto titânio da LIP Paraná-Etendeka (LIP-HTi) e cambrianas da Suíte Fundão. ** dados de Belém (2014), * Dados de Peate (1997).

	Cretáceo									Cambriano						
	Serra do Mar			Transminas						LIP-HTi		Suíte Fundão				
Amostra	3	8	9	10	11	12	13	14	15	CB1110*	DUP35*	JB14-1**	JB20c**	JB8-1**	1	2
La/Yb	9.85	24.53	22.49	9.12	7.95	8.00	9.52	10.04	9.91	6.78	10.19	4.84	5.63	7.01	5.22	4.03

De acordo com o diagrama Zr/Y versus Ti/Y (Brewer *et al.*, 1992 - Fig. 8A), a fonte dos diques Transminas e dos diques Serra do Mar mostra caráter enriquecido do tipo dos basaltos de ilhas oceânicas (OIB). As amostras da Suíte Fundão, tanto em Minas quanto no Espírito Santo, seriam são provenientes de fonte empobrecida do tipo manto primitivo (PM, Primitive Mantle). O diagrama de razões La/Sm versus Sm/Yb normalizadas ao

condrito (Jourdan *et al.*, 2009 - Fig. 8B) revela que a possível rocha fonte dos diques Transminas e dos diques Serra do Mar corresponde ao granada-lherzolito comum do manto astenosférico, semelhante à dos basaltos de alto-Ti Paraná-Etendeka. Já para as amostras da Suíte Fundão, a possível fonte seria uma fonte menos profunda, do tipo espinélio-lherzolito presente no manto litosférico.

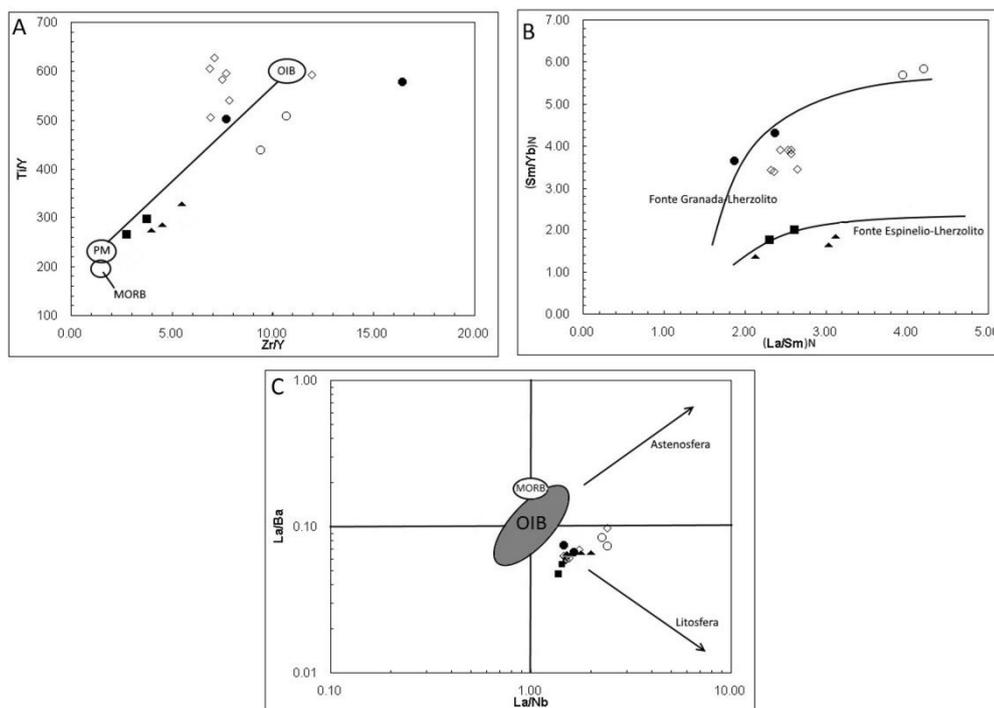


Figura 8. (A) – Diagrama Zr/Y versus Ti/Y (Brewer et al., 1992). OIB: Ocean island basalts ou basaltos de ilhas oceânicas, PM: Primitive mantle ou manto primitivo, MORB: Mid ocean ridge basalts ou basaltos de cadeia meso-oceânica. (B) – Diagrama La/Sm versus Sm/Yb normalizado ao Condrito (Jourdan et al., 2009). (C) – Diagrama La/Nb versus La/Ba (Saunders et al. 1992) (OIB: Oceanic island basalts ou basaltos de ilhas oceânicas, MORB: Mid ocean ridge basalts ou basaltos de cadeia meso-oceânica). Simbologia: Círculos cheios: Toleítos de Alto titânio da LIP Paraná-Etendeka*, Círculos vazios: diques alcalinos Serra do Mar, Losangos abertos: diques toleíticos Serra do Mar e Transminas, Quadrados: Suíte fundão em Minas Gerais, Triângulos: Suíte Fundão no Espírito Santo**. * Dados de Peate (1997), ** dados de Belém (2014).

No que se refere ao envolvimento crustal na evolução dos diques, o diagrama La/Nb versus La/Ba (Saunders et al. 1992 - Fig. 8C) mostra que todas as rochas estudadas sofreram processos de contaminação crustal.

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os dados petrográficos obtidos neste trabalho para as rochas cretáceas dos enxames Transminas e Serra do Mar são semelhantes com aqueles das rochas basálticas da LIP Paraná-Etendeka descritas por Bellieni et al. (1984). Os dados petrográficos da Suíte Fundão em Minas Gerais deste trabalho são concordantes com os dados apresentados por Belém (2014) para as rochas cambrianas da Suíte Fundão no Espírito Santo. Os diques cambrianos da Suíte Fundão diferem petrograficamente dos diques cretáceos, tendo em vista que estas últimas possuem olivina e não apresentam ortopiroxênio, piroxênio este comum nas rochas cambrianas da Suíte Fundão, sem olivina.

As rochas estudadas neste trabalho são em sua maioria basaltos toleíticos, sendo apenas as amostras 8 e 9 do enxame Serra do Mar classificadas

como traqui-basaltos alcalinos. As rochas dos enxames Transminas e Serra do Mar caem no campo de basaltos intra-placa, e as rochas da Suíte Fundão em Minas e no Espírito Santo foram classificadas como MORB. Devido ao seu moderado a baixo #Mg (todos < 60), nenhuma delas corresponde à magmas primários.

As rochas cretáceas de alto Ti estudadas neste trabalho são toleíticas e alcalinas, geradas a partir de uma mesma fonte mantélica, possivelmente um granada-lherzolito (Fig. 8B) com assinatura OIB (Figs. 7A e 8A). As amostras 8 e 9 teriam adquirido uma composição alcalina por diferenciação a partir dos magmas toleíticos cretáceos ou devido ao fato de terem sido geradas por um menor grau de fusão da rocha fonte. Tanto as rochas cretáceas quanto as cambrianas passaram por processos de contaminação crustal, conforme observado no diagrama La/Nb versus La/Ba (Fig. 8C).

Com base nas idades cretáceas, nos diagramas de classificação química e de tectônica, nos diagramas de elementos incompatíveis e de ETR, nos teores de incompatíveis como Sr, Ba, Nb, Ta, Hf e Zr, e nas razões Zr/Y, Sr/ e Ba/Y, as rochas dos enxames

Serra do Mar e Transminas se assemelham. Comparativamente a LIP Paraná-Etendeka cretácea, as rochas do exame Transminas são semelhantes ao tipo magmático Urubici e as rochas do enxame Serra do Mar têm semelhança com os tipos Urubici e Pitanga conforme os diagramas discriminantes nas figuras 9A e 9B, e através da comparação entre os diagramas de elementos incompatíveis e de ETR das figuras 6A e 7A, respectivamente. A partir destas informações, é possível associar as rochas do enxame de diques Transminas e do enxame Serra do Mar ao mesmo contexto geológico da LIP Paraná-Etendeka.

Para alguns autores, a LIP Paraná-Etendeka está relacionada à atividade da pluma mantélica Tristão da Cunha, quando o supercontinente Gondwana derivou por sobre ela, conforme defendem White e McKenzie (1989), Renne *et al.* (1992), O'Connor *et al.*, (1990), Harry *et al.* (1992), Valente *et al.* (2007, 2009) Almeida *et al.* (2013) e Chaves (2014). A assinatura tipo OIB (Figs. 6A, 7A e 8A) encontrada para os diques cretáceos estudados e para a LIP Paraná-Etendeka é típica de plumas mantélicas. Entretanto, para outros autores como Marques (2001) e Ussami *et al.* (2012), a dinâmica da abertura do Oceano Atlântico Sul teria ocorrido em função da delaminação do manto litosférico subcontinental, englobado por células convectivas ascendentes do manto sublitosférico subjacente em níveis pouco profundos. Estes fenômenos teriam ocorrido durante um estágio avançado de rifteamento do supercontinente Gondwana.

No que se refere as rochas da Suíte Fundão, as rochas encontradas em Minas Gerais e aquelas do Espírito Santo são petrográfica e litoquimicamente similares, diferindo das cretáceas por apresentarem teores menores para os elementos incompatíveis Sr, Ba, Nb, Ta, Hf e Zr e para as razões Zr/Y, Sr/Y e Ba/Y (tabela 2). Além disso, os diagramas de elementos incompatíveis e de ETR assemelham-se ao padrão E-MORB (Figs. 6B e 7B) e sua possível fonte mantélica seria um espinélio-lherzolito (Fig. 8B). Segundo Belém (2014), os diques da Suíte Fundão no Espírito Santo teriam sua origem relacionada ao manto litosférico subcontinental, a partir de processo de slab break-off com delaminação mantélica associada, durante a fase de colapso gravitacional do Orógeno Araçuai. Esta colocação é bastante coerente com os dados apresentados na figura 8B, pois o campo de estabilidade do espinélio-lherzolito coincide com porções mais superiores do manto, região a qual Belém (2014) indica como possível fonte destas rochas. A partir do exposto, sugere-se que as amostras 1 e 2 da Suíte Fundão representem diques máficos cambrianos da fase de colapso gravitacional do Orógeno Araçuai em Minas Gerais.

6. AGRADECIMENTOS

Ao colegiado de pós-graduação do Instituto de Geociências IGC/UFMG pelo apoio financeiro e à Petrobras pela bolsa do programa Petrobras de formação de recursos humanos (PFRH).

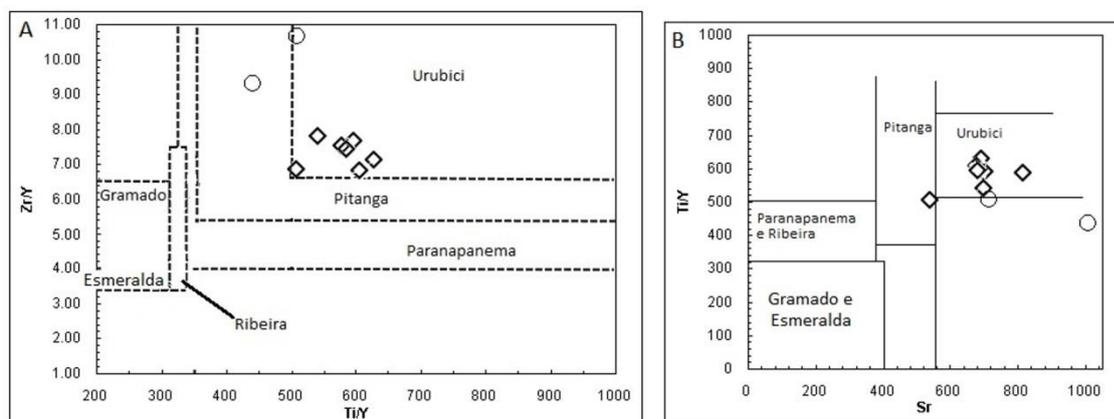


Figura 9. (A) - Diagrama discriminatório para os tipos de magmas da Província Magmática do Paraná, segundo modelo Peate (1997) em Machado *et al.*, 2005), modificado. (B) - Diagrama discriminatório dos tipos de magmas dos derrames da Província Magmática do Paraná Modificado de Marques e Ernesto (2004). Simbologia para os diques mesozóicos de Minas Gerais: Losangos vazios: Toleiitos de Alto titânio, Círculos vazios: alcalinos de alto titânio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, J., Dios, F., Mohriak, W.U., Valeriano, C.M., Heilbron, M., Eirado, L.G., Tomazzoli, E., 2013. Pre-rift tectonic scenario of the Eo-Cretaceous Gondwana break-up along SE Brazil/SW Africa: insights from tholeiitic mafic dyke swarms. In: Mohriak, W.U., Danforth, A., Post, P.J., Brown, D.E., Tari, G.C., Nemcok, M., Sinha, S.T. (Eds.), *Conjugate Divergent Margins*, Geological Society, London, Special Publications, vol. 369.
- Belém J. 2014. Geoquímica, Geocronologia e contexto geotectônico do magmatismo máfico associado ao feixe de fraturas Colatina, Estado do Espírito Santo. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 134p.
- Bellieni, G., Comin-Chiaromonti, P., Marques, L.S., Melfi, A.J., Piccirillo, E.M., Nardy, A.J.R., Roisenberg, A., 1984. High and low-Ti flood basalts from the Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 150, 272-306.
- Borges, A.J. 2011. Magnetometria – derivada vertical – Minas Gerais. Disponível em <http://lagf.org/2012/proceeding/Andr%C3%A9%20Vaz%20de%20Melo%20Fran%C3%A7a.pdf> – consulta em 15 Fevereiro de 2014.
- Brewer, T.S., Hergt, J.M., Hawkesworth, C.J., Rex, D., Storey, B.C., 1992. Coats land dolerites and the generation of Antarctic continental flood basalts. In: Storey, B.C., Alabaster, T., Pankhurst, R.J. (Eds.), *Magmatism and the Causes of Continental Break Up*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, vol. 68, pp. 185–208.
- Chaves, A.O. e Neves, J.M.C. 2005. Radiometric ages, aeromagnetic expression, and general geology of mafic dykes from southeastern Brazil and implications for African-South American correlations. *J. South Amer. Earth Sci.*, 19, 387-397.
- Chaves, A.O. 2013. Enxames de diques máficos de Minas Gerais – o estado da arte. *Geonomos*, 21(1), 29-33.
- Chaves, A.O. 2014. Petrografia e litoquímica do enxame de diques máficos eocretáceos Transminas (Minas Gerais, Brasil): implicações geodinâmicas. *Comunicações Geológicas* (2014) 101, Especial I, 163-167.
- Coelho, R.M., Chaves A.O., 2016 (Submetido). Idades Ar-Ar de diques máficos mesozoicos de Minas Gerais. *Revista Geociências Unesp*.
- Corval, A. 2005. Petrogênese das suítes basálticas toleíticas do Enxame de Diques da Serra do Mar nos setores central e norte do estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, UERJ, 92p.
- Dutra, T. 2006. Petrogênese dos basaltos de baixo-TiO₂ do Enxame de Diques da Serra do Mar na Região dos Lagos, RJ. Dissertação de Mestrado, UERJ, 111p.
- Florisbal L.M., Janasi V. M., Heaman L.M., Nardi L. V. S., Bitencourt M.F. 2011. O enxame de diques Florianópolis na região de Garopaba, SC: Idade U-Pb TIMS em Badeleita e relação com vulcanismo Serra Geral. In 5º Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Resumos.
- Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trow, R.A.J.; Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Heilbron, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Campos Neto, M.C.; Silva, L.C.; Trow, R.A.J.; Janasi, V.A. 2004. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B.B. (eds.), *Livro Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Editora Beca, São Paulo, p. 203-234.
- Harry, D.L e Sawyer, D.S. 1992. Basaltic Volcanism, mantle plumes, and the mechanics of rifting: The Paraná flood basalt province of South America. *Geology*, 20: 207-210.
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523–548.
- Jourdan, F., Bertrand, H., Féraud, G., Lê Gall, B., Watkeys, M.K., 2009. Lithospheric mantle evolution monitored by overlapping large igneous provinces: case study in southern Africa. *Lithos* 107, 257–268
- Le Maitre, R.W., 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Sub-commission on the Systematics of Igneous Rocks*, Cambridge University Press, 236 p
- Machado, F. B., Nardy, A. J. R., Melo, R. P., Oliveira, M. A. F., Squisato, E., 2005. As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo: Aspectos Petrográficos E Geoquímicos – Resultados Preliminares. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 24, n. 1, p. 5-17,
- Marques, L.S., 2001. Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná. Tese (livre-docência), Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 86 p.
- Marques, L. S. e Ernesto M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Almeida F.F.M., *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida*. Organizadores: Virginia Mantesso-Neto, Andre Bartorelli, Celso Dal Ré Carneiro, Benjamin Bley de Brito-Neves. 647p. São Paulo.
- Moreira, J. L. P., Madeira, C. V., Gil J. A., Machado, M. A. P., 2007. Bacia de Santos. *Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 511-529.
- Noce C. M., Costa A. G., Piuzana D., Vieira V. S., Carvalho C. M., 2007. Manhuaçu- SF.23-X-B-III, escala 1:100.000: nota explicativa. Minas Gerais: UFMG/CPRM, 44p.
- Novais L.C.C., Teixeira L. B., Rodarte J. B. M., Almeida J; C. H., Valeriano C.M. 2004. Novas ocorrências de diques de diabásio na faixa Colatina- ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de Campos e Espírito Santo. *B. Geoci. Petrobras* 12(1): 191-194.
- O'Connor, J.M. e Duncan, A.R. 1990. Evolution of the Walvis Ridge-Rio Grande Rise hot Spot System: Implication for African and South American Plate Motions Over Plumes. *Journal of Geophysical Research* 95 (B11): 17475-17502.
- Oliveira M. J. R., 2000. Mapeamento geológico da Folhas Conselheiro Pena/São Gabriel da Palha – SE.24-Y-C-II/SE.24-Y-C-III (parte). Projeto Leste: escala 1:100.000.– Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM.
- Peate, D. W., C. J. Hawkesworth, and M. S. M. Mantovani, 1992. Chemical stratigraphy of the Parani lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution, *Bull. Volcanol.*, 55, 119-139.
- Peate, D., 1997. The Parana-Etendeka Province. In: Mahoney, J.J., Con, M.F. (Eds.), *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*. *Am. Geophys. Union Geophys. Monogr.* 100, 217-246
- Pearce, J.A., Cann, J.R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290–300.
- Pearce, J.A., 1982, Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries; p. 525-548 in, Thorp, R.S., ed.,

- Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks, John Wiley and Sons, Nova York, 724 p.
- 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, Tese de Doutorado, IGC-USP, São Paulo, 178 pp.
- Pinto, V.M., Hartmann, L.A., Santos, J.O.S., Mc Naughton, N.J., Wildner, W., 2011. Zircon U–Pb geochronology from the Paraná bimodal volcanic province support a brief eruptive cycle at ~135 Ma. *Chemical Geology*, 281, 93–102.
- Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M. e Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic Cretaceous Boundary. *Science*, 258: 975-978
- Rosset, A., De Min, A., Marques, L.S., Macambira, M.J.B., Ernesto, M., Renne, P.R., Piccirillo, E.M., 2007. Genesis and geodynamic significance of Mesoproterozoic and Early Cretaceous tholeiitic dyke swarms from the Sao Francisco Craton (Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, 24, 69-92.
- Saunders, A.D., Storey, M., Kent, R.W., Norry, M.J., 1992. Consequences of plume–lithosphere interactions. In: Storey, B.C., Alabaster, T., Pankhurst, R.J. (Eds.), *Magmatism and the Causes Of Continental Break-up*. Geological Society of London, Special Publication. Geological Society of London, London, pp. 41–60.
- Schmitt, R.S.; Trouw, R.A.J.; Van Schmus, W.R.; Pimentel, M.M. 2004. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, 133: 29-61.
- Silva, A.M., Chemale Jr., F., Kuyumjian, R.M., Heaman, L. 1995. Mafic dyke swarms of Quadrilátero Ferrífero and southern Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasileira Geociências*. 25 (2), 124–137.
- Silva, C.M.A.de, Gomes, J.B, Caldeira, S.M.B., 1987. Geologia da região de Ribeirão da Folha, município de Minas Novas, MG (área central). Trabalho Geológico de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 71p.
- Sun, S., McDonough, W., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders, M.J. Norry, (Eds). *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Society Special Publication, 313-345.
- Tomba, C.L.B., 2012. Análise estrutural dos enxames de diques máficos eocretáceos do Sul-Sudeste do Brasil. Dissertação de Mestrado. IG-USP – São Paulo, Brasil. 133 p.
- Tuller, M.P., 2000. Mapeamento geológico da Folha Ipanema SE.24-Y-C-IV, estado de Minas Gerais, Projeto Leste, escala 1:100.000. Belo Horizonte; SEME/COMIG/CPRM.
- Ussami, N., Chaves, C. A. M., Marques, L. S., Ernesto, M., 2012. Origin of the Rio Grande Rise-Walvis Ridge reviewed integrating palaeogeographic reconstruction, isotope geochemistry and flexural modelling. *Geological Society, London, Special Publications*, 369(1), 129-146.
- Valente, S.C. 1997. Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of the Cretaceous dykes of Rio de Janeiro, Brazil. Tese de Doutorado, The Queen’s University of Belfast, 366p.
- Valente, S.C., Corval, A., Duarte, B.P., Ellam, R.B., Fallick, A.E., Meighan, I.G., Dutra, T. 2007. Tectonic boundaries, crustal weakness zones and plume-subcontinental lithospheric mantle interactions in the Serra do Mar Dyke Swarm, SE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 37, 194-201.
- Valente S.C.; Dutra T.; Heilbron M.; Corval A.; Sztamari P. 2009. Litogeoquímica de diques de diabásio da faixa Colatina, ES: *Geochimica Brasiliensis*, 23(2) p 177-192.
- Winter, W.R., Jahnert, R.J., França, A.B., 2007. Bacia de Campos. *B. Geoci. Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 511-529.
- White, R.S., McKenzie, D., 1989. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. *Journal of Geophysical Research*, 94, 7685–7729.