

Geologia e Caracterização Química do Magmatismo
Peralcalino Ultrapotássico do Enxame de Diques
Manáira-Princesa Isabel, Província Borborema

Geology and Chemical Characterization of the Ultrapotassic Peralkaline
Magmatism of the Manáira-Princesa Isabel Dike Swarm, Borborema Province

Maria Helena Bezerra Maia de Hollanda¹ (hollanda@usp.br), Carolina Pelaéz Mejía¹ (caropelaez@usp.br),
Carlos José Archanjo¹ (archan@usp.br), Richard Armstrong² (richard.armstrong@anu.edu.au)

¹Departamento de Mineralogia e Geotectônica - Instituto de Geociências - USP
R. do Lago 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BR

²Research School of Earth Sciences - Australian National University, Canberra, AU

Recebido em 10 de dezembro de 2008; aceito em 30 de julho de 2009

RESUMO

O enxame de diques ácidos da região de Manáira-Princesa Isabel aflora no estado da Paraíba, geologicamente inserido no domínio Alto Pajeú da Zona Transversal (Província Borborema, NE do Brasil). O enxame compreende principalmente nefelina sienitos a sienitos saturados em sílica, com afinidade peralcalina ultrapotássica e, subordinadamente, álcali-granitos com afinidade metaluminosa. A assembleia mineral é dominada por microclina e anfibólio ± piroxênios sódicos nos termos sieníticos, enquanto mg-biotita está restrita aos álcali-granitos. Anfibólio é predominantemente de composição magnésio-riebeckita, identificado nos subenxames de Manáira, Princesa Isabel e Tavares; enquanto o piroxênio é egirina-augita (subenxames Manáira e Tavares), passando a composições de egirina nas bordas, quando zonados. A assinatura geoquímica-isotópica mostra forte enriquecimento em elementos incompatíveis, associado à marcante depleção em Nb, a razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr radiogênicas e ϵ_{Nd} negativos. Essas feições sugerem manto litosférico enriquecido como fonte comum para os diques, provavelmente modificado por um componente de subducção antigo, como indicado pelas idades T_{DM} paleoproterozoicas. Razões isotópicas de Pb mostram claro desacoplamento com respeito às razões isotópicas de Sr e Nd, com valores significativamente mais baixos que a média dos valores crustais, sugerindo a participação de um componente não radiogênico interagindo com a fonte mantélica, enriquecida. A ocorrência de magmatismo fissural, intraplaca, com provável idade U-Pb em zircão de c. 600 Ma, define contextos geodinâmicos contrastantes. Esse contraste refere-se à contemporaneidade entre um cenário de relativa quiescência tectônica (a colocação dos diques em crosta fria) se contrapondo com a intensa atividade tectonomagmática, correlacionada à orogênese Brasileira, desenvolvendo-se em blocos crustais lateralmente contíguos na porção central da Zona Transversal.

Palavras-chave: Província Borborema; Zona transversal; Magmatismo peralcalino ultrapotássico; Manto litosférico enriquecido.

ABSTRACT

The Manáira-Princesa Isabel dike swarm forms one of the most expressive examples of Neoproterozoic (c. 600 Ma) peralkaline magmatism in the Borborema Province (NE Brazil). It consists of about a hundred NE-trending bodies intrusive in older, Neoproterozoic porphyritic granites (Princesa Isabel and Tavares plutons), and orthogneisses and low-grade metasediments of the Eo-neoproterozoic Riacho Gravatá complex. The dike swarm includes mostly silica-saturated syenites, with potassic to ultrapotassic, peralkaline affinity, containing microcline and sodic amphibole ± pyroxene as the main mineral assemblage. Amphibole is dominantly Mg-riebeckite (Manáira, Princesa Isabel and Tavares sub-swarms), whereas pyroxene is mainly aegirine-augite (Manáira and Tavares sub-swarms). A minor set of dikes from this swarm is slightly metaluminous with Mg-biotite as the major mafic phase. Geochemical and isotopic signatures indicate strong enrichment in incompatible elements (Rb, Ba, K, Th, U), in association with a negative Nb anomaly, and strongly radiogenic ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr and ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd (= negative ϵ_{Nd} values) initial ratios. These features suggest a common source, which was probably an

enriched lithospheric mantle reservoir, chemically modified by an ancient subduction component inferred to be Paleoproterozoic from T_{DM} model ages. Conversely, Pb isotopic ratios lower than average crustal values indicate the influence of a non-radiogenic component interacting with the enriched mantle source. A SHRIMP U-Pb age of c. 600 Ma obtained for the Manaíra-Princesa Isabel dike swarm defines an important crustal exhumation period which was relatively synchronous with intensive tectonomagmatic activity related to the Brasiliano orogeny, which occurred in distinct structural domains within the Transverse Zone of the Borborema Province.

Keywords: Borborema Province; Transversal zone; Ultrapotassic peralkaline magmatism; Enriched lithospheric mantle.

INTRODUÇÃO

A composição geoquímica de magmas de afinidade alcalina é controlada por seu ambiente tectônico, mais precisamente pelas características químicas de suas fontes, sejam estas o manto litosférico (ou astenosférico) ou a crosta continental. A diversidade de fontes que contribuem na gênese desses magmas reflete-se na heterogeneidade de sua assinatura geoquímica e, especialmente, isotópica (Bonin, 2007). Essa heterogeneidade pode ainda estar relacionada a processos petrogenéticos posteriores à fusão parcial da fonte, os quais podem modificar as características originais do magma, impossibilitando a definição precisa da natureza da fonte. Um desses processos é assimilação durante ascensão na crosta quando, a depender da extensão da contaminação, as características geoquímico-isotópicas de magmas derivados de fusão astenosférica poderão representar maior ou menor influência de valores tipicamente crustais. Em se tratando de magmas originados a partir da fusão de manto litosférico, anormalmente enriquecido, a questão é ainda mais problemática visto as similaridades entre este reservatório e a crosta. Nesse sentido, a geoquímica (elementar e isotópica) pode fornecer resultados ambíguos, onde não é possível definir com clareza a tipologia da fonte.

Magmas com afinidade alcalina têm sido interpretados como derivados de fusão parcial, em pequenas proporções, de: **1.** manto litosférico enriquecido em elementos incompatíveis (p.ex., Dawson, 1987), **2.** manto astenosférico empobrecido em elementos incompatíveis (p.ex., Fitton, 1987), ou **3.** interação de líquidos astenosféricos com o manto litosférico sobrejacente (p.ex., Menzies, 1987). Origem a partir de um “manto metassomatizado” é uma interpretação frequente em trabalhos sobre magmas alcalinos a peralcalinos. O termo foi introduzido explicitamente por Bailey (1972) para explicar as características químicas particulares desse tipo de magmatismo, e correlacioná-lo a ambientes continentais específicos. Evidências que apontem para essa origem são reconhecidas por: **1.** mudanças mineralógicas/texturais visíveis, com neoformação de fases hidratadas ricas em elementos incompatíveis - metassomatismo patente, no sentido de Dawson (1984) (também Nielson e Noller, 1987; Wilshire, 1987), ou **2.** enriquecimento anômalo em elementos incompatíveis [K, Rb, Sr,

Ba, Th, U, ETR leves (e menos frequentemente Nb, Zr, Ti, P)] relativo às abundâncias primitivas/condríticas, sem necessariamente estar acompanhado de evidências petrográficas - metassomatismo crítico (Dawson, 1984; Nielson e Noller, 1987; Wilshire, 1987), também referido como metassomatismo potássico por Menzies et al. (1987). As abundâncias anômalas nesses elementos estariam vinculadas à participação de um agente metassomático, o qual poderia ser representado por fusões silicáticas ou fluidos aquosos(/carbonatados) interagindo com o manto peridotítico originalmente empobrecido, mas fértil (Roden e Murthy, 1985; Tatsumi e Eggins, 1995). Zonas de subducção e riftes intracontinentais representariam, portanto, cenários geodinâmicos propícios para esse processo.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Borborema é definida como uma entidade tectônica situada no Nordeste do Brasil, caracterizada pela atuação do ciclo Brasiliano/Pan-africano (Almeida et al., 1981). A feição mais marcante da orogênese brasileira na Província Borborema é o volumoso magmatismo, predominantemente granítico, temporal e espacialmente associado a extensas zonas de cisalhamento que compartimentam toda a província. Dados geocronológicos, isotópicos e gravimétricos permitiram a subdivisão da Província Borborema em subprovíncias:

1. Setentrional, situada a norte do Lineamento Patos, onde predominam rochas paleoproterozoicas envolvendo pequenos núcleos arqueanos variavelmente retrabalhados pelo ciclo Brasiliano, bem como rochas juvenis atribuídas a um arco magmático continental neoproterozoico (Jardim de Sá, 1994; Fetter et al., 2003; Dantas et al., 2004).

2. Meridional, entre o Lineamento Pernambuco e a margem norte do Craton São Francisco, onde predominam rochas neoproterozoicas, incluindo faixas metavulcanosedimentares distais, sucessões pelito-carbonáticas marginais e bacias molássicas.

3. A Zona Transversal, situada entre os lineamentos Patos e Pernambuco, a qual compreende sequências tectônicas cronologicamente distintas, justapostas por zonas de cisalhamento brasileiras.

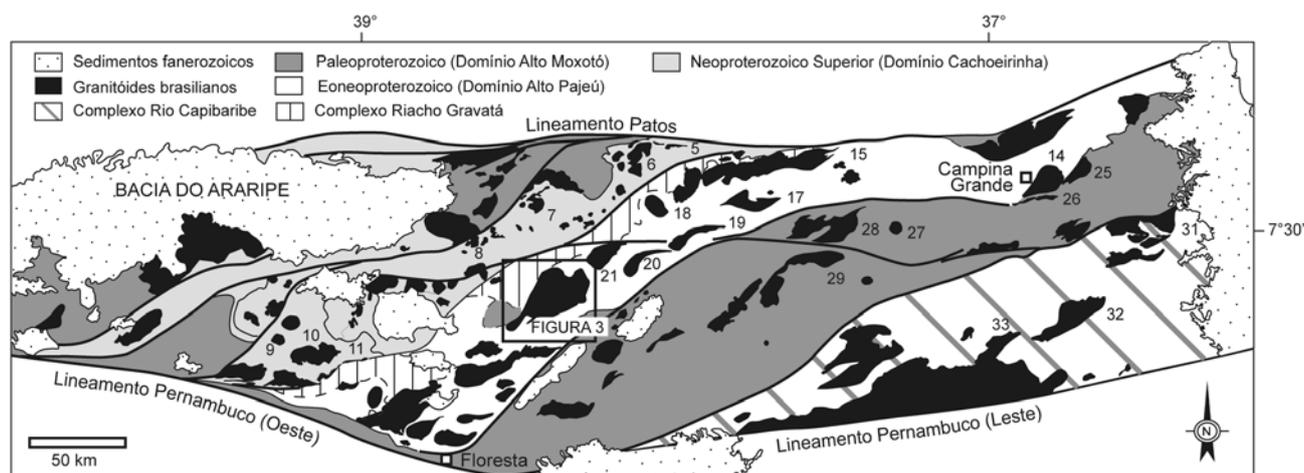
A Zona Transversal

A Zona Transversal é formada por domínios crustais com características geológicas próprias, estruturados segundo a direção NE-SW. Esses domínios são denominados, de leste para oeste: Rio Capibaribe, Alto Moxotó, Alto Pajeú (inclui o Complexo Riacho Gravatá) e Cachoeirinha, tendo sido individualizados com base em dados geocronológicos (U-Pb em zircão), isotópicos (especialmente Sm-Nd) e geoquímicos (Van Schmus et al., 1995; Ferreira et al., 1998). Dois modelos contrastantes têm sido propostos para explicar a integração desses diferentes domínios durante a orogênese Brasileira: **1.** amalgamação de terrenos ao longo de uma (paleo)margem convergente e dispersão durante a deformação transcorrente brasileira (Santos, 1996; Brito Neves et al., 2000), ou **2.** colagem de blocos no Paleoproterozoico e posterior retrabalhamento neoproterozoico, em um contexto intraplaca (Neves, 2003).

A área de estudo está geologicamente inserida no domínio Alto Pajeú. Esse domínio está limitado a norte pelo Lineamento Patos, a sul por rochas do domínio Alto Moxotó (em contato com o Lineamento Pernambuco), e a oeste com a zona de cisalhamento da Serra do Caboclo (Medeiros, 2004). É constituído predominantemente por associações granito-gnáissicas representadas por plútons eoneoproterozoicos relacionados ao evento Cariris Velhos (c. 950 Ma; Brito Neves et al., 2001), e plútons neoproterozoicos,

todos intrusivos em embasamento paleoproterozoico de idade de c. 2,1 Ga (Kozuch, 2003). No setor ocidental desse domínio aflora uma sequência supracrustal representada por metavulcânicas fêlsicas e máficas intercaladas em unidades metassiliciclásticas (Complexo Riacho Gravatá, de c. 1,0 Ga; Bittar, 1998) (Figura 1). O domínio Alto Moxotó é caracterizado pela intrusão de granitoides (ortognaisses) eoneoproterozoicos e plútons brasileiros em um embasamento constituído predominantemente por ortognaisses bandados, de composição granodiorítica.

O magmatismo cálcio-alcalino a subalcalino neoproterozoico no domínio Alto Pajeú é diacrônico, com idades entre: **1.** 650 - 620 Ma (plútons de Tavares, Itapetim e Tabira), **2.** 595 - 585 Ma (plútons de Esperança-Pocinhos, Teixeira e Pajeú), e **3.** 580 Ma (plúton de Campina Grande) (Brito Neves et al., 2003; Guimarães et al., 2004; Archanjo e Fetter, 2004; Archanjo et al., 2008). Idades-modelos Sm-Nd desse magmatismo se distribuem em dois grupos distintos. Nos plútons de Timbaúba, Teixeira, Itapetim e Tabira os valores TDM situam-se em torno de 1,4 Ga, com $\epsilon_{Nd(0)} > -15$, enquanto que nos demais as idades-modelo são mais antigas (c. 1,8 - 2,5 Ga), associadas a valores de $\epsilon_{Nd(0)} < -20$ (Archanjo e Fetter, 2004; Guimarães et al., 2004; Brito Neves et al., 2005) (Figura 2). Em ambos os grupos, os dados Sm-Nd sugerem processos de contaminação do magma com a encaixante regional, ou ainda a participação do embasamento como fonte para esses magmas.



CACHOEIRINHA: 1. Bodocó, 2. Serra da Lagoinha, 3. Monte Horebe, 4. Itaporanga, 5. Catingueira, 6. Emas-Olho D'Água, 7. Pedra Branca, 8. Conceição, 9. Serrita, 10. Salgueiro, 11. Terra Nova.

ALTO PAJEÚ: 12. Esperança, 13. Pocinhos, 14. Campina Grande, 15. Taperoá, 16. Teixeira, 17. Itapetim, 18. Palmeira, 19. Tabira, 20. Solidão, 21. Tavares, 22. Triunfo, 23. Pajeú, 24. Serra do Man.

ALTO MOXOTÓ: 25. Serra Redonda, 26. Queimadas, 27. Uruçú, 28. Serra Branca, 29. Prata, 30. Pereiro-Serra do Velho Zuza.

RIO CAPIBARIBE: 31. Timbaúba, 32. Bom Jardim, 33. Toritama, 34. Fazenda Nova-Caruaru.

Figura 1. Mapa geológico simplificado da Zona Transversal, com ênfase no magmatismo neoproterozoico e principais zonas de cisalhamento brasileiras. Os números representam os plútons neoproterozoicos reconhecidos e distribuídos em cada um dos domínios desta subprovíncia (modificado de Medeiros, 2004).

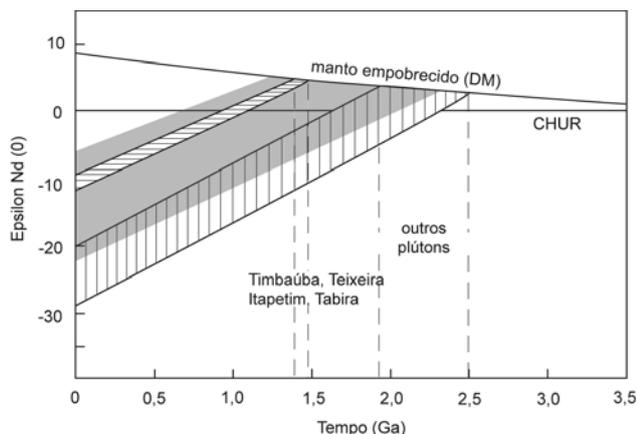


Figura 2. Diagrama ϵ_{Nd} vs. tempo mostrando as curvas de evolução para alguns dos plútons granitoides do domínio Alto Pajeú. Para comparação, a área em cinza corresponde aos valores de ϵ_{Nd} para as rochas do embasamento desses plútons, ortognaisses c. 950 Ma e c. 2,1 Ga (ver fontes no texto).

Magmatismo ultrapotássico a peralcalino na Zona Transversal

Os representantes desse magmatismo formam corpos plutônicos e subvulcânicos preferencialmente intrusivos no domínio Alto Pajeú. Composicionalmente, incluem tipos ultrapotássicos (plútons Serra do Man e Triunfo), peralcalinos ultrapotássicos (plútons da Serra do Casé e Serra do Livramento, e os diques de Manaíra), e peralcalinos (plúton de Cacimbas, Serrote das Duas Irmãs e Serrote do Paulo, e os diques de Serrita, Serra do Pico e Terra Nova) (Figura 1) (Sial e Ferreira, 1988; Ferreira e Sial, 1994; Ferreira et al., 1994, 1998; Ferreira et al., 2002; Guimarães et al., 2004). Tipos peralcalinos de ocorrência mais restrita são também cartografados nos domínios Cachoeirinha (diques do Riacho Santo Antônio, Catingueira, Tigre) e Rio Capibaribe (diques Moderna).

A associação mineralógica típica nessas rochas é bastante homogênea, consistindo basicamente de microclina pertítica e egirina-augita, com anfibólio sódico (riebeckita-richterita-winchita) subordinado, por vezes substituindo parcialmente piroxênio (Ferreira et al., 1994, 1998). Especificamente no sienito de Triunfo, Ferreira e colaboradores descrevem a ocorrência de piroxenitos como diques sinplutônicos ou enclaves coexistindo em equilíbrio químico com o magma sienítico, sugerindo imiscibilidade de líquidos. Idade Rb-Sr (rocha total) obtida para esse plúton é de 583 ± 12 Ma, com razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ inicial de 0,710. Idades modelo Sm-Nd agrupam-se entre 2,0 e 2,5 Ga, com $\epsilon_{Nd(0)}$ fortemente negativo (Figura 2).

O ENXAME DE DIQUES DE MANAÍRA-PRINCESA ISABEL

O enxame de diques de Manaíra aflora em uma área de aproximadamente 60 km², limitada a norte pelos milonitos verticais da zona de cisalhamento Juru-Belém e a sul-leste pelas cidades de Manaíra, Princesa Isabel e Tavares (PB) (Figura 3). Alguns diques também são mapeados próximos à cidade de Serra Talhada (PE), mas desaparecem no polígono circunscrito por esta cidade e aquelas de Triunfo e Flores, também em Pernambuco.

Sua ocorrência é definida pelo alinhamento (semi)contínuo de altos topográficos segundo a direção NE-SW, com variações locais para N-S na região a sul-sudoeste de Manaíra. Em campo, os diques não estão associados a cristas do relevo regional. Em Tavares e Princesa Isabel, por exemplo, os diques estão arrasados e destacam-se da encaixante granítica (os plútons homônimos) pela cor mais escura (Figura 4A). Relações de intrusão com o sienito de Triunfo não são diretamente observadas. Aparentemente os diques não afetam esse plúton que, por sua vez, é intrusivo no granito porfirítico de Princesa Isabel. Por essas relações e pelas semelhanças mineralógicas, o sienito de Triunfo e o enxame de diques de Manaíra têm sido considerados um evento magmático único (Sial, 1986; Sial e Ferreira, 1988).

Os diques constituem rochas maciças normalmente com granulação fina e contatos subverticais bem definidos com a encaixante. Diques com textura porfirítica fina são encontrados em Tavares e a norte de Princesa Isabel. As larguras são variáveis, desde uma dezena de centímetros até algumas dezenas de metros, sendo a média entre 1 e 3 m. O comprimento estimado por observação direta e cartografia digital é de algumas dezenas de metros a alguns quilômetros. Ocorrem cortando tanto os granitos porfiríticos de Princesa Isabel e Tavares e suas estruturas magmáticas, bem como a foliação metamórfica de baixo grau nos metassedimentos do Complexo Riacho Gravatá (Figura 4B). No contato com essas encaixantes os diques frequentemente desenvolvem uma margem resfriada de alguns centímetros de largura, indicando colocação em nível crustal raso (Figura 4C).

GEOCRONOLOGIA

A datação U-Pb foi feita em zircões do dique DKMN-02, que aflora próximo à cidade de Manaíra. Sua escolha deve-se à sua significativa representatividade petrográfica (textura/mineralogia/quimismo) com respeito ao enxame (ver itens seguintes). Foram selecionados cerca de 23 grãos para análise pontual na microsonda iônica SHRIMP II da *Research School of Earth Sciences, Australian National University*. Detalhes sobre procedimentos analíticos estão sumarizados no Apêndice A.

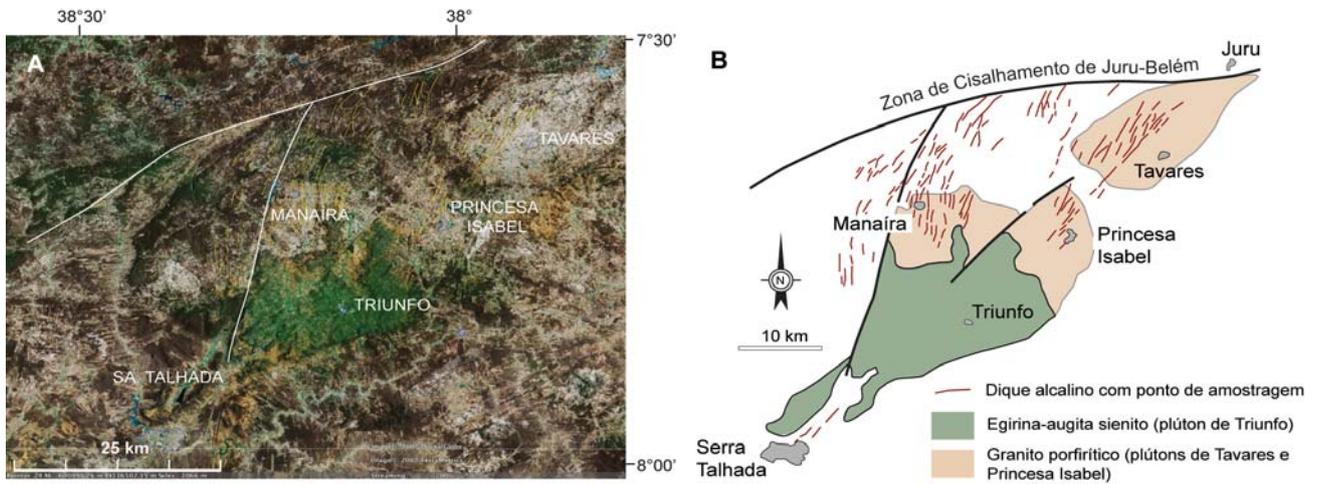


Figura 3. A. Imagem de satélite LANDSAT mostrando o contraste espectral entre o sienito de Triunfo (verde), os plútons de Princesa Isabel e Tavares (ambos em branco) e os ortognaisses regionais (marrom). Em amarelo foram destacados os diques estudados. **B.** Mapa esquemático ilustrando as relações espaciais entre os diques e suas encaixantes, bem como sua distribuição com respeito à zona de cisalhamento Juru-Belém.



Figura 4. Diques de sienito de direção NE-SW intrusivos em: **A.** granito porfirítico de Princesa Isabel; **B.** metassedimentos do Complexo Riacho Gravatá; **C.** dique com bordas de resfriamento desenvolvidas ao longo do contato com encaixante regional.

Geocronologia U-Pb

A análise da população de zircões do dique DKMN-02 mostrou ampla diversidade temporal, com grãos de idades paleo-, meso- e neoproterozoica (Figuras 5A e 5B; Tabela 1). A população mais antiga inclui zircões com idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ entre 2,39 - 1,86 Ga, a grande maioria com algum grau de discordância. Dois grãos definem um pequeno grupo com idades c. 940 - 920 Ma, enquanto um terceiro grupo de 4 grãos forneceu idades em c. 600 Ma. Por fim, duas análises fortemente discordantes plotam próximas a 540 Ma.

A representatividade individual de cada grupo é baixa. Grãos paleoproterozoicos certamente foram herdados quando da ascensão dos diques, uma vez que as relações de campo mostram claramente a intrusão tardia dos diques com respeito às estruturas dúcteis, neoproterozoicas, que afetam o embasamento regional. Embora não exatamente aflorando nas proximidades da área de ocorrência desses diques, os ortognaisses Cariris Velhos podem ter sido a fonte potencial dos zircões eoneoproterozoicos (c. 950 Ma). A exclusão desses dois grupos mais antigos leva-nos a considerar os dois grupos restantes, de idades neoproterozoica e cambriana, como aqueles que mais provavelmente representariam a idade desse magmatismo.

O grupo de idades cambrianas é representado, na verdade, por apenas duas análises (*spots* #3.1 e #5.1) com idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ c. 540 Ma, fortemente discordantes, com erros elevados para as razões $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{Pb}$. A qualidade analítica do dado fornecido pelo grão/*spot* #5.1 é ainda prejudicada face ao alto conteúdo de Pb comum medido. Essas características sugerem que os dois grãos possam representar zircões mais antigos, parcialmente afetados por um evento termal posterior à sua formação. Por sua vez, o grupo de idade neoproterozoica é representado por quatro análises (*spots* #1.1, #14.1, #18.1 e #19.1) em torno de 600 Ma. Dessas, apenas o grão 14.1 é fortemente discordante, enquanto o grão #18.1 tem idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{Pb}$ discretamente mais elevada que o conjunto dos demais três grãos. Todavia, a excelente qualidade analítica do dado fornecido pelo grão/*spot* #19.1, concordante em $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de $603,6 \pm 3,9$ Ma, valida a informação cronológica do conjunto. Apesar de estatisticamente pouco representativa, a idade neoproterozoica desse conjunto parece ser a mais provável para o enxame de diques de Manaira.

PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

Diferenças com respeito à composição química da assembleia máfica e padrões texturais, levaram à definição de

Tabela 1. Dados U-Pb SHRIMP para zircões da amostra DKMN-02. Erros são 1-sigma; Pb_c e Pb^* indicam as frações de Pb comum e radiogênico, respectivamente. O erro na calibração do padrão foi 0,23% (não incluído nos erros individuais, mas necessário na comparação entre dados de diferentes *mounts*). (1) Pb comum corrigido usando os valores de ^{204}Pb medido.

Spot	% $^{206}\text{Pb}_c$	U ppm	Th ppm	$^{206}\text{Pb}^*$ ppm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (1)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ b (1)	% Disc	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$ b* (1)	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ (1)	±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ (1)	±%	corr		
1,1	1,85	320	184	27,4	600,9	±4,6	588	±83	-2	0,0596	3,8	0,803	3,9	0,0977	0,8	0,21
2,1	3,11	374	110	101	1710	±15	1978	±59	14	0,1215	3,3	5,09	3,5	0,3038	1	0,3
3,1	3,37	178	82	14	545,7	±5,3	693	±160	21	0,0626	7,5	0,762	7,5	0,0883	1	0,13
4,1	9,32	1222	333	179	923	±11	890	±370	-4	0,069	18	1,46	18	0,1539	1,3	0,07
5,1	14,09	265	133	23,1	537,2	±6,9	621	±180	13	0,0605	8,4	0,725	8,5	0,0869	1,3	0,16
6,1	0,07	358	184	117	2086	±14	2178	±5,6	4	0,1361	0,3	7,168	0,9	0,382	0,8	0,93
7,1	0,08	373	67	105	1825	±19	1858	±14	2	0,1136	0,8	5,126	1,4	0,3273	1,2	0,85
8,1	0,19	173	76	60	2176	±15	2228	±15	2	0,1401	0,9	7,756	1,2	0,4016	0,8	0,68
10,1	0,11	139	71	48,4	2187	±16	2205	±7,9	1	0,1382	0,5	7,695	0,9	0,4038	0,9	0,88
11,1	0,29	174	77	23,6	942,7	±7,1	966	±24	2	0,0713	1,2	1,548	1,4	0,1575	0,8	0,57
12,1	0,1	278	65	76,4	1788	±11	1863	±7,8	4	0,1139	0,4	5,021	0,9	0,3196	0,7	0,86
12,2	3,02	310	31	94	1888	±14	2079	±58	9	0,1286	3,3	6,03	3,4	0,3404	0,9	0,25
14,1	-	299	183	25,2	603,6	±4,3	711	±19	15	0,0631	0,9	0,854	1,2	0,0982	0,8	0,64
16,1	0,1	136	35	51,2	2336	±17	2393	±51	2	0,1542	3	9,29	3,1	0,4368	0,9	0,28
17,1	0,19	212	60	66	1989	±22	1982	±17	0	0,1217	0,9	6,066	1,6	0,3614	1,3	0,79
18,1	1,32	758	72	66,8	621,4	±4	590	±37	-5	0,0596	1,7	0,832	1,8	0,1012	0,7	0,37
19,1	0,5	861	194	73	603,6	±3,9	603	±35	0	0,0599	1,6	0,812	1,8	0,09816	0,7	0,39
23,1	1,59	472	286	143	1914	±12	1971	±16	3	0,1211	0,9	5,767	1,1	0,3456	0,7	0,63
23,2	0,32	41	13	15,7	2353	±57	2264	±43	-4	0,1431	2,5	8,69	3,8	0,441	2,9	0,76

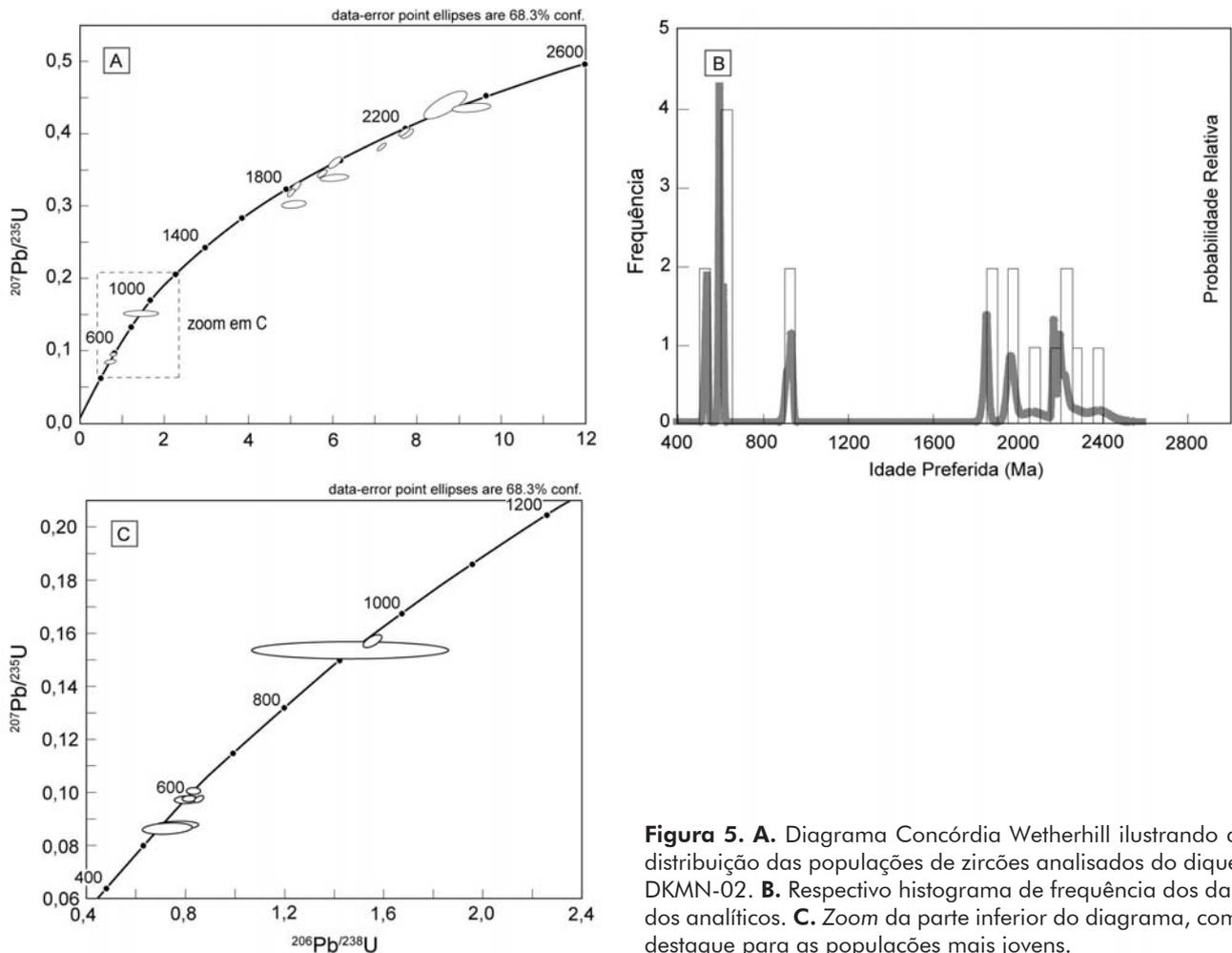


Figura 5. A. Diagrama Concórdia Wetherill ilustrando a distribuição das populações de zircões analisados do dique DKMN-02. **B.** Respeetivo histograma de frequência dos dados analíticos. **C.** Zoom da parte inferior do diagrama, com destaque para as populações mais jovens.

quatro subenxames: **1.** Manaíra, **2.** Princesa Isabel, **3.** Tavares e **4.** Serra Talhada, sendo suas áreas de ocorrência o entorno das cidades homônimas. Comentários sobre o procedimento para obtenção dos dados de química mineral são sumarizados no Apêndice B; os resultados estão apresentados nas Tabelas 2A a 2D.

Aspectos petrográficos

Macroscopicamente os diques são homogêneos, não deformados e sem alterações mineralógicas visíveis. Consistem em rochas de cor cinza, com textura fanerítica fina. Em geral os diques dos subenxames Manaíra e Princesa Isabel têm granulação, mineralogia e texturas similares, em parte também compartilhados pelos diques do subenxame Tavares. A assembleia mineralógica é representada por K-feldspato + piroxênio ± anfibólio, e apatita, titanita e zircão como minerais acessórios. Já os diques do subenxame Ser-

ra Talhada apresentam cristais de K-feldspatos fortemente sericitizados, sendo biotita a única fase mineral máfica.

Os resultados modais mostram a dominância de K-feldspato como fase mineral principal (59 - 82% em Tavares e 80 - 95% nos demais subenxames), subordinadamente acompanhado pelas fases máficas piroxênio, anfibólio e biotita. Considerando a ausência de quartzo e plagioclásio modais em todas as amostras, K-feldspato representaria 100% do total de félsicos no diagrama Q-A-P de Streckeisen (1976), sendo os diques petrograficamente classificados como álcali-feldspato sienitos.

Subenxame Manaíra

Ao microscópio os diques desse subenxame mostram textura inequigranular, hipidiomórfica a xenomórfica, com notável variação granulométrica. A assembleia mineralógica é dominada por K-feldspato + piroxênio ± anfibólio.

Tabela 2A. Composições químicas de piroxênitos de subexames Manairá e Tavares. **Legenda:** **c** = centro, **b** = borda.

Dique	DKMIN-04												DKMIN-08												
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		
	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	
SiO ₂	52,269	51,723	52,390	51,483	51,782	52,027	51,883	52,658	52,830	52,489	52,387	52,841	52,941	51,890	52,184	52,180	52,946	52,444	52,402						
TiO ₂	1,339	0,766	0,994	1,368	1,306	0,472	1,479	0,596	2,445	0,474	0,552	0,965	0,620	1,118	0,719	0,394	0,813	0,594	0,910						
Al ₂ O ₃	0,516	0,413	0,498	4,117	0,508	0,811	1,121	0,366	1,380	0,380	0,797	0,517	0,646	0,615	0,711	0,882	0,897	0,958	1,029						
FeO	28,313	23,196	25,082	26,673	27,405	19,021	27,092	18,591	27,029	17,899	16,351	22,778	16,128	22,952	16,945	16,921	20,474	18,652	20,257						
MnO	0,206	0,532	0,519	0,258	0,296	0,407	0,317	0,411	0,333	0,359	0,372	0,465	0,367	0,357	0,343	0,381	0,631	0,405	0,604						
MgO	1,168	4,066	2,659	1,228	2,002	6,663	1,538	7,112	1,567	7,404	8,197	3,698	8,161	3,588	7,802	8,386	5,469	6,522	5,002						
CaO	2,445	9,105	4,159	2,764	4,739	13,387	3,630	13,908	3,089	14,340	15,693	6,431	15,181	7,503	14,783	16,374	9,182	12,341	8,386						
K ₂ O	0,000	0,026	0,013	0,008	0,000	0,047	0,000	0,012	0,006	0,000	0,033	0,010	0,008	0,000	0,001	0,001	0,000	0,019	0,029						
Na ₂ O	11,984	8,095	11,090	11,387	11,208	5,818	11,377	5,699	12,014	5,381	4,815	9,860	4,952	8,980	4,979	4,272	8,581	6,406	8,988						
Total	98,240	97,922	97,404	99,286	99,246	98,653	98,437	99,558	99,679	99,726	99,197	97,565	99,004	97,003	98,467	99,791	98,993	98,341	97,607						
Si	1,985	1,986	1,994	1,929	1,948	1,978	1,967	1,983	1,976	1,970	1,974	2,010	1,998	2,001	1,985	1,963	1,981	1,991	1,984						
Ti	0,038	0,022	0,028	0,039	0,037	0,013	0,042	0,017	0,069	0,013	0,016	0,028	0,018	0,032	0,021	0,011	0,023	0,017	0,026						
Al (T)	0,015	0,014	0,006	0,071	0,023	0,022	0,033	0,017	0,016	0,030	0,026	0,000	0,002	0,000	0,015	0,037	0,019	0,009	0,016						
Al (M1)	0,008	0,005	0,017	0,111	0,000	0,014	0,018	0,008	0,000	0,031	0,010	0,023	0,026	0,028	0,017	0,002	0,021	0,034	0,030						
Fe ³⁺ (T)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000						
Fe ³⁺ (M1)	0,813	0,569	0,751	0,711	0,796	0,412	0,767	0,392	0,758	0,364	0,338	0,629	0,304	0,577	0,324	0,324	0,575	0,413	0,596						
Fe ²⁺	0,086	0,176	0,047	0,125	0,037	0,193	0,092	0,193	0,080	0,198	0,177	0,095	0,205	0,163	0,215	0,208	0,066	0,179	0,046						
Mn	0,007	0,017	0,017	0,008	0,009	0,013	0,010	0,013	0,011	0,011	0,012	0,015	0,012	0,012	0,011	0,012	0,020	0,013	0,019						
Mg	0,066	0,233	0,151	0,069	0,112	0,378	0,087	0,399	0,087	0,414	0,461	0,210	0,459	0,206	0,442	0,470	0,305	0,369	0,282						
Ca	0,099	0,375	0,170	0,111	0,191	0,545	0,147	0,561	0,124	0,577	0,634	0,262	0,614	0,310	0,603	0,660	0,368	0,502	0,340						
K	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001						
Na	0,882	0,603	0,819	0,827	0,818	0,429	0,836	0,416	0,871	0,392	0,352	0,727	0,362	0,671	0,367	0,312	0,623	0,472	0,660						
Total cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000						
En	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Wo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
Jd	0,85	0,49	1,77	11,36	0,00	1,47	1,87	0,82	0,00	3,12	0,98	2,56	2,89	3,07	1,84	0,22	2,18	3,60	3,16						
Eg	86,66	60,14	79,89	73,11	82,76	41,98	81,80	41,09	85,68	36,60	34,65	69,38	33,29	63,35	34,99	31,54	60,57	43,71	63,23						
QUAD	12,49	39,38	18,34	15,53	17,24	56,54	16,33	58,09	14,32	60,29	64,37	28,06	63,82	33,58	63,18	68,24	37,24	52,68	33,61						

(continua....)

(Tabela 2A - continuação)

Dique	DKMN-08						DKMN-09						DKMN-11															
	13		14		1		2		3		4		5		1		2		3		4		5		6			
	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b		
SiO ₂	52,002	51,799	51,983	52,764	53,327	53,039	52,400	53,053	53,869	53,336	52,428	52,247	52,465	51,655	51,332	52,241	52,367	51,806	52,784	52,534								
TiO ₂	0,564	0,859	0,446	0,879	1,535	1,852	1,895	2,115	1,954	0,215	2,886	0,223	0,218	0,199	1,825	0,209	0,229	0,205	0,274	0,994								
Al ₂ O ₃	0,530	2,459	1,233	0,696	0,430	0,403	0,403	0,403	0,347	0,291	1,487	0,341	0,382	0,717	2,010	0,382	0,399	0,412	0,272	0,300								
FeO	17,325	21,927	14,645	23,042	20,213	20,285	20,457	19,777	19,408	16,921	25,275	17,626	17,762	17,241	24,482	17,691	17,120	16,952	14,271	22,733								
MnO	0,399	0,460	0,353	0,508	0,469	0,500	0,486	0,563	0,594	0,471	0,154	0,504	0,501	0,444	0,202	0,507	0,487	0,434	0,352	0,260								
MgO	7,964	3,746	9,254	3,760	4,631	4,474	4,690	4,751	4,819	7,761	1,741	7,327	7,287	7,349	1,052	7,383	7,421	7,570	9,678	3,478								
CaO	15,094	6,782	17,443	6,903	8,058	8,377	8,507	8,403	9,973	16,970	2,140	16,599	16,497	16,660	4,363	16,718	16,525	17,050	17,631	7,627								
K ₂ O	0,000	0,045	0,001	0,013	0,003	0,033	0,002	0,011	0,011	0,012	0,011	0,000	0,014	0,000	0,020	0,000	0,006	0,025	0,000	0,023								
Na ₂ O	5,007	9,502	3,345	9,888	9,344	8,975	9,206	8,932	7,814	3,961	12,116	3,817	3,835	3,832	10,859	3,874	3,788	3,572	3,230	9,375								
Total	98,875	97,579	98,703	98,453	98,010	97,938	98,046	98,008	98,789	99,938	98,238	98,684	98,961	98,097	96,145	99,005	98,342	98,026	98,492	97,324								
Si	1,969	1,966	1,975	1,989	2,013	2,013	1,982	2,010	2,042	2,016	1,978	2,008	2,011	1,993	1,993	2,000	2,017	2,002	2,008	2,012								
Ti	0,016	0,025	0,013	0,025	0,044	0,053	0,054	0,060	0,056	0,006	0,082	0,006	0,006	0,006	0,053	0,006	0,007	0,006	0,008	0,029								
Al (T)	0,024	0,034	0,025	0,011	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,007	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000								
Al (M1)	0,000	0,076	0,030	0,019	0,019	0,018	0,000	0,018	0,016	0,013	0,044	0,015	0,017	0,025	0,085	0,017	0,018	0,019	0,012	0,014								
Fe ³⁺ (T)	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000								
Fe ³⁺ (M1)	0,367	0,611	0,216	0,665	0,551	0,512	0,586	0,497	0,364	0,234	0,701	0,241	0,234	0,257	0,634	0,259	0,218	0,234	0,194	0,602								
Fe ²⁺	0,175	0,085	0,249	0,061	0,087	0,132	0,061	0,129	0,252	0,301	0,097	0,326	0,336	0,300	0,160	0,307	0,333	0,314	0,261	0,126								
Mn	0,013	0,015	0,011	0,016	0,015	0,016	0,016	0,018	0,019	0,015	0,005	0,016	0,016	0,015	0,007	0,016	0,016	0,014	0,011	0,008								
Mg	0,450	0,212	0,524	0,211	0,261	0,253	0,264	0,268	0,272	0,437	0,098	0,420	0,416	0,423	0,061	0,421	0,426	0,436	0,549	0,199								
Ca	0,612	0,276	0,710	0,279	0,326	0,341	0,345	0,341	0,405	0,687	0,087	0,683	0,678	0,689	0,181	0,686	0,682	0,706	0,719	0,313								
K	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001								
Na	0,368	0,699	0,246	0,723	0,684	0,661	0,675	0,656	0,574	0,290	0,886	0,284	0,285	0,287	0,817	0,288	0,283	0,268	0,696									
Total cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000								
En	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Wo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-								
Jd	0,00	7,83	3,05	2,06	2,25	2,20	0,00	2,23	2,26	1,52	5,13	1,72	1,96	2,61	9,44	1,76	2,16	2,00	1,41	1,51								
Eg	37,28	63,11	21,89	70,34	64,76	62,35	66,84	61,74	53,03	27,43	81,17	26,75	26,55	26,29	70,79	27,14	26,03	24,88	22,36	67,08								
QUAD	62,72	29,06	75,06	27,60	33,00	35,46	33,16	36,02	44,71	71,06	13,70	71,53	71,49	71,11	19,77	71,09	71,81	73,12	76,23	31,41								

(continua...)

(Tabela 2A - continuação)

Dique	DKMN-11			DKMN-13								DKTV-02A			DKTV-04								
	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2		1	2	3	4	5	6	7		
	b	b	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	
SiO ₂	52,802	52,631	53,398	52,708	53,319	53,256	52,663	52,946	53,150	52,766	51,393	52,526	51,517	51,387	51,265	51,476	51,587	51,949	53,200				
TiO ₂	2,957	3,119	0,316	0,251	0,299	0,383	0,416	0,296	0,286	0,265	1,534	0,090	0,079	0,245	0,258	0,759	0,598	0,158	0,118				
Al ₂ O ₃	0,403	0,356	0,306	0,290	0,232	0,304	0,269	0,422	0,298	0,254	1,736	0,791	0,493	0,331	0,426	0,725	0,757	0,480	0,407				
FeO	24,717	24,359	16,250	18,150	14,812	17,252	17,833	17,669	17,432	19,481	17,343	11,020	13,090	14,095	13,482	15,079	15,294	12,581	13,610				
MnO	0,254	0,295	0,316	0,421	0,257	0,438	0,354	0,432	0,484	0,509	0,365	0,247	0,378	0,369	0,322	0,249	0,272	0,334	0,378				
MgO	1,964	1,539	8,072	7,005	8,995	7,458	7,355	7,362	7,252	6,408	6,674	11,255	10,003	9,555	9,609	8,572	8,130	10,290	9,313				
CaO	2,531	1,852	15,552	14,978	16,370	14,864	14,823	14,980	15,197	14,135	14,534	22,101	21,064	19,992	21,962	17,393	16,778	21,840	16,146				
K ₂ O	0,013	0,000	0,015	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,005	0,000	0,002	0,021	0,003	0,002	0,000	0,000	0,025				
Na ₂ O	11,755	12,145	4,593	4,999	4,069	4,929	5,174	4,857	4,805	5,415	5,862	1,617	1,691	2,043	1,168	3,852	4,179	1,356	4,648				
Total	97,396	96,296	98,818	98,807	98,353	98,884	98,887	98,964	98,919	99,233	99,446	99,647	98,317	98,038	98,495	98,107	97,595	98,988	97,845				
Si	2,015	2,027	2,025	2,009	2,026	2,023	1,999	2,012	2,022	2,007	1,934	1,972	1,978	1,982	1,979	1,968	1,981	1,983	2,013				
Ti	0,085	0,090	0,009	0,007	0,009	0,011	0,012	0,008	0,008	0,008	0,043	0,003	0,002	0,007	0,007	0,022	0,017	0,005	0,003				
Al (T)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,066	0,028	0,022	0,015	0,019	0,032	0,019	0,017	0,000				
Al (M1)	0,018	0,016	0,014	0,013	0,010	0,014	0,011	0,019	0,013	0,011	0,011	0,007	0,000	0,000	0,000	0,001	0,016	0,004	0,018				
Fe ³⁺ (T)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000				
Fe ³⁺ (M1)	0,653	0,656	0,257	0,325	0,220	0,282	0,347	0,298	0,281	0,359	0,396	0,134	0,143	0,158	0,094	0,273	0,280	0,104	0,291				
Fe ²⁺	0,136	0,129	0,259	0,253	0,251	0,267	0,219	0,264	0,274	0,260	0,149	0,212	0,277	0,294	0,339	0,210	0,211	0,297	0,140				
Mn	0,008	0,010	0,010	0,014	0,008	0,014	0,011	0,014	0,016	0,016	0,012	0,008	0,012	0,012	0,011	0,008	0,009	0,011	0,012				
Mg	0,112	0,088	0,456	0,398	0,510	0,422	0,416	0,417	0,411	0,363	0,374	0,630	0,573	0,549	0,553	0,489	0,465	0,585	0,525				
Ca	0,103	0,076	0,632	0,612	0,667	0,605	0,603	0,610	0,619	0,576	0,586	0,889	0,866	0,826	0,908	0,713	0,690	0,893	0,655				
K	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001				
Na	0,870	0,907	0,338	0,369	0,300	0,363	0,381	0,358	0,354	0,399	0,428	0,118	0,126	0,153	0,087	0,286	0,311	0,100	0,341				
Total cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000				
En	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,64	30,59	29,82	29,00	-	-	30,96	-				
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,89	23,11	25,33	23,37	-	-	21,81	-				
Wo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47,47	46,30	44,84	47,63	-	-	47,23	-				
Jd	2,25	2,07	1,69	1,42	1,33	1,66	1,16	2,13	1,60	1,23	1,16	-	-	-	-	0,11	1,65	-	2,00				
Eg	80,97	83,99	31,71	35,48	28,25	34,29	36,93	33,54	33,61	38,74	42,36	-	-	-	-	28,71	29,63	-	32,07				
QUAD	16,78	13,94	66,60	63,10	70,41	64,05	61,91	64,33	64,79	60,03	56,47	-	-	-	-	71,18	68,72	-	65,93				

(continua...)

(Tabela 2A - continuação)

Dique	8			9			10			11			12			13			14			15			16			17			18						
	c	b		c	b		c	b		b		c	b		c	b		c	b		c	b		c	b		c	b									
SiO ₂	52,081	51,872	52,088	51,755	51,296	51,621	51,461	51,457	51,390	52,563	52,452	52,042	51,876	51,327	51,512	52,565	51,434	53,363																			
TiO ₂	0,841	2,211	0,186	0,108	0,705	0,539	2,020	0,506	0,256	0,199	0,134	0,174	0,693	0,527	0,724	0,212	0,648	0,099																			
Al ₂ O ₃	0,408	0,932	0,388	0,346	0,833	0,833	1,145	0,799	0,513	0,587	0,727	0,807	0,415	0,702	0,814	0,508	1,025	0,778																			
FeO	15,687	24,698	15,522	14,960	15,592	15,975	25,460	14,940	13,463	8,938	9,684	8,953	14,559	14,449	15,900	11,743	11,709	6,711																			
MnO	0,271	0,334	0,399	0,334	0,314	0,301	0,345	0,299	0,269	0,228	0,187	0,189	0,238	0,249	0,347	0,279	0,271	0,132	0,176																		
MgO	8,617	1,506	9,403	9,236	8,292	8,373	1,397	9,316	9,889	13,073	12,599	12,618	9,236	9,013	8,106	11,030	10,335	14,039	13,755																		
CaO	16,682	5,734	19,500	18,896	16,352	17,504	4,156	18,856	20,916	23,587	23,532	23,436	17,752	18,043	17,010	21,726	20,085	22,305	21,831																		
K ₂ O	0,009	0,000	0,000	0,000	0,020	0,016	0,000	0,050	0,002	0,457	0,000	0,000	0,000	0,015	3,625	0,000	0,147	0,000	0,000																		
Na ₂ O	4,051	9,548	2,036	2,078	3,770	3,527	10,480	2,621	1,329	0,000	0,319	0,325	3,535	3,433	0,008	1,075	1,567	1,348																			
Total	98,647	96,835	99,522	97,713	97,174	98,689	96,464	98,844	98,027	99,632	99,634	98,544	98,304	97,758	98,046	99,138	97,221	98,462	98,061																		
Si	1,982	2,025	1,987	2,008	1,986	1,972	2,003	1,965	1,988	1,976	1,974	1,976	1,978	1,969	2,029	1,999	1,992	1,994	2,002																		
Ti	0,024	0,065	0,005	0,003	0,021	0,015	0,059	0,015	0,007	0,006	0,004	0,005	0,020	0,015	0,021	0,006	0,019	0,001	0,003																		
Al (T)	0,018	0,000	0,013	0,000	0,014	0,028	0,000	0,035	0,012	0,024	0,026	0,024	0,019	0,031	0,000	0,001	0,008	0,000	0,000																		
Al (M1)	0,000	0,043	0,004	0,016	0,024	0,009	0,053	0,001	0,011	0,002	0,006	0,013	0,000	0,000	0,038	0,022	0,038	0,025	0,034																		
Fe ³⁺ (T)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000																		
Fe ³⁺ (M1)	0,270	0,500	0,149	0,118	0,233	0,250	0,614	0,202	0,086	0,033	0,035	0,025	0,244	0,257	0,044	0,046	0,057	0,069	0,054																		
Fe ²⁺	0,230	0,306	0,347	0,368	0,271	0,260	0,215	0,275	0,350	0,248	0,270	0,259	0,217	0,207	0,479	0,327	0,322	0,137	0,156																		
Mn	0,009	0,011	0,013	0,011	0,010	0,010	0,011	0,010	0,009	0,007	0,006	0,006	0,008	0,008	0,012	0,009	0,009	0,004	0,006																		
Mg	0,489	0,088	0,535	0,534	0,479	0,477	0,081	0,530	0,570	0,733	0,707	0,714	0,525	0,515	0,476	0,625	0,597	0,781	0,769																		
Ca	0,680	0,240	0,797	0,786	0,678	0,716	0,173	0,771	0,867	0,950	0,949	0,954	0,725	0,741	0,718	0,885	0,833	0,892	0,877																		
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000	0,022	0,000	0,000	0,000	0,001	0,182	0,000	0,007	0,000	0,000																		
Na	0,299	0,723	0,151	0,156	0,283	0,261	0,791	0,194	0,100	0,000	0,023	0,024	0,261	0,255	0,001	0,079	0,118	0,091	0,098																		
Total cátions	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000																		
En	-	-	29,06	29,42	-	-	-	29,65	30,31	37,17	35,95	36,48	-	-	27,53	33,03	32,82	41,49	41,29																		
Fe	-	-	27,62	27,33	-	-	-	27,22	23,62	14,63	15,80	14,83	-	-	30,96	20,20	21,35	11,14	11,60																		
Wo	-	-	43,32	43,25	-	-	-	43,13	46,07	48,20	48,25	48,69	-	-	41,51	46,76	45,84	47,37	47,10																		
Jd	0,00	5,49	-	-	2,62	0,95	6,08	-	-	-	-	-	0,00	0,04	-	-	-	-	-																		
Eg	29,94	64,04	-	-	25,76	25,49	71,05	-	-	-	-	-	26,26	25,82	-	-	-	-	-																		
QUAD	70,06	30,47	-	-	71,62	73,56	22,87	-	-	-	-	-	73,74	74,14	-	-	-	-	-																		

Tabela 2B. Composições químicas de anfíbios dos subexames Manaitra, Princesa Isabel e Tavares. **Legend:** **c** = centro, **b** = borda.

Dique	DKMN 9									DKPI-01									DKPI-03		
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	c	b	7	8	9	10	11	12	c	b	1	2
SiO ₂	54,544	55,773	55,226	52,037	52,865	53,641	54,135	52,605	51,142	54,062	51,933	52,057	52,112	52,938	52,810	56,387	56,019	53,799	54,564	55,110	
TiO ₂	0,086	0,143	0,096	0,276	2,867	0,511	0,130	0,352	0,237	0,460	0,319	0,212	0,043	0,324	0,286	0,034	0,125	0,349	0,211	0,086	
Al ₂ O ₃	0,598	0,656	0,663	0,329	0,551	0,378	2,645	0,422	2,894	0,428	2,445	0,310	6,461	0,354	0,376	0,446	0,355	0,413	0,510	0,589	
MnO	0,194	0,184	0,200	0,499	0,265	0,121	0,385	0,132	0,182	0,196	0,136	0,176	0,453	0,147	0,118	0,442	0,433	0,114	0,233	0,187	
FeO	20,154	20,249	19,183	29,028	27,323	24,585	18,120	27,301	23,599	23,786	27,341	25,647	17,422	26,767	26,464	15,384	17,701	25,682	20,031	20,623	
MgO	11,549	11,251	11,714	0,837	0,728	4,124	11,850	1,727	4,112	4,866	1,511	2,834	11,972	2,545	2,027	13,953	12,930	2,632	10,948	10,844	
CaO	2,312	1,768	1,817	2,041	1,940	4,623	1,814	2,993	3,910	4,458	2,681	4,637	2,219	3,546	3,310	1,925	2,199	4,408	1,478	1,645	
Na ₂ O	6,165	6,502	6,521	12,303	12,419	10,405	6,143	11,961	10,178	9,739	11,747	10,923	5,804	11,286	11,449	7,087	6,385	11,143	6,502	6,499	
K ₂ O	0,650	0,747	0,746	0,000	0,002	0,100	1,333	0,016	0,182	0,221	0,006	0,013	1,400	0,035	0,024	1,523	1,290	0,049	0,969	0,790	
F	0,245	0,476	0,685	0,002	0,000	0,000	0,595	0,000	0,134	0,165	0,127	0,000	0,518	0,000	0,071	0,925	0,943	0,000	0,575	0,483	
Cl	0,000	0,018	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,023	0,028	0,010	0,018	0,018	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total	96,497	97,767	96,856	97,352	98,96	98,488	97,15	97,509	96,57	98,389	98,269	96,837	98,414	97,96	96,953	98,117	98,38	98,589	96,021	96,856	
Si	7,918	8,010	7,999	8,609	8,609	8,579	7,777	8,669	8,234	8,548	8,409	8,632	7,319	8,613	8,721	8,057	8,005	8,738	8,007	8,010	
Al	0,082	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,223	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,681	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
SOMA (T)	8,000	8,010	8,000	8,609	8,609	8,579	8,000	8,669	8,234	8,548	8,409	8,632	8,000	8,613	8,721	8,057	8,005	8,738	8,007	8,010	
Al	0,021	0,111	0,112	0,064	0,106	0,071	0,225	0,082	0,549	0,080	0,467	0,061	0,389	0,068	0,073	0,075	0,060	0,079	0,088	0,101	
Ti	0,009	0,015	0,010	0,034	0,351	0,061	0,014	0,044	0,029	0,055	0,039	0,026	0,005	0,040	0,036	0,004	0,013	0,043	0,023	0,009	
Fe ³⁺	1,424	1,313	1,305	0,000	0,000	0,000	1,419	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,724	0,000	0,000	0,961	1,205	0,000	1,324	1,335	
Mg	2,500	2,409	2,529	0,206	0,177	0,983	2,538	0,424	0,987	1,147	0,365	0,701	2,507	0,617	0,499	2,972	2,754	0,637	2,395	2,350	
Fe ²⁺	1,022	1,119	1,018	4,016	3,721	3,288	0,757	3,762	3,177	3,145	3,702	3,556	0,322	3,642	3,654	0,877	0,910	3,488	1,134	1,171	
Mn	0,024	0,022	0,025	0,070	0,037	0,016	0,047	0,018	0,025	0,026	0,019	0,025	0,054	0,020	0,017	0,053	0,052	0,016	0,029	0,023	
SOMA (C)	5,000	4,990	5,000	4,391	4,391	4,421	5,000	4,331	4,766	4,452	4,591	4,368	5,000	4,387	4,279	4,943	4,995	4,262	4,993	4,990	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ca	0,360	0,272	0,282	0,362	0,338	0,792	0,279	0,528	0,674	0,755	0,465	0,824	0,334	0,618	0,586	0,295	0,337	0,767	0,232	0,256	
Na	1,640	1,728	1,718	1,638	1,662	1,208	1,711	1,472	1,326	1,245	1,535	1,176	1,580	1,382	1,414	1,705	1,663	1,233	1,768	1,744	
SOMA (B)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,990	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,914	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Na	0,095	0,082	0,113	2,308	2,259	2,019	0,000	2,350	1,851	1,740	2,153	2,335	0,000	2,178	2,251	0,258	0,105	2,276	0,082	0,088	
K	0,120	0,137	0,138	0,000	0,000	0,020	0,244	0,003	0,037	0,045	0,001	0,003	0,251	0,007	0,005	0,278	0,235	0,010	0,181	0,146	
SOMA (A)	0,215	0,219	0,251	2,308	2,260	2,039	0,244	2,353	1,888	1,785	2,154	2,338	0,251	2,185	2,256	0,536	0,341	2,286	0,263	0,234	
(Na+K)A	0,215	0,219	0,251	2,308	2,260	2,039	0,244	2,353	1,888	1,785	2,154	2,338	0,251	2,185	2,256	0,536	0,341	2,286	0,263	0,234	
Mg/Mg+Fe ²⁺	0,505	0,498	0,521	0,049	0,045	0,230	0,538	0,101	0,237	0,267	0,090	0,165	0,551	0,145	0,120	0,618	0,566	0,154	0,494	0,484	

(continua...)

(Tabela 2B - continuação)

Dióxido	DKPI-03						DKTV-01							DKTV-02A								
	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
SiO ₂	54,607	53,813	54,041	55,328	55,213	54,761	54,513	53,912	54,709	53,367	55,093	54,951	55,250	55,319	55,150	54,131	54,992	54,847	55,681	55,677		
TiO ₂	0,134	0,461	0,222	0,157	0,052	0,062	0,043	0,105	0,020	0,033	0,022	0,009	0,009	0,067	0,152	0,114	0,086	0,104	0,114	0,143		
Al ₂ O ₃	0,628	0,574	0,698	0,609	0,686	0,822	0,599	1,119	2,553	3,602	0,759	0,568	0,585	0,537	0,555	0,545	0,507	0,548	0,557	0,491		
MnO	0,193	0,134	0,180	0,279	0,219	0,240	0,221	0,221	0,246	0,244	0,323	0,191	0,173	0,137	0,132	0,151	0,090	0,139	0,145	0,159		
FeO	20,946	19,768	20,916	18,587	23,658	23,674	21,325	21,600	20,755	21,852	23,523	21,184	22,872	22,566	21,933	23,107	22,008	22,615	21,772	22,413		
MgO	10,464	9,963	10,216	12,340	9,237	8,798	9,573	9,034	9,825	8,752	8,868	10,465	9,747	10,207	10,061	9,966	10,341	9,943	10,253	10,337		
CaO	1,769	1,769	2,018	2,325	0,824	0,521	0,970	0,538	0,856	0,434	0,611	0,859	0,494	0,358	0,376	0,268	0,413	0,251	0,461	0,433		
Na ₂ O	6,481	7,427	7,098	6,399	6,789	6,987	6,971	6,876	6,882	6,775	7,070	6,607	6,762	6,873	6,731	6,837	6,554	6,748	6,771	7,005		
K ₂ O	0,788	0,796	0,638	0,671	0,253	0,295	0,269	0,314	0,267	0,167	0,259	0,136	0,110	0,174	0,174	0,132	0,160	0,109	0,107	0,121		
F	0,545	0,510	0,823	0,991	0,532	0,468	0,342	0,641	0,470	0,167	0,131	0,136	0,037	0,231	0,063	0,171	0,000	0,066	0,132	0,202		
Cl	0,021	0,000	0,029	0,005	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,016	0,003	0,000	0,000	0,008	0,029	0,000	0,000	0,000		
Total	96,576	95,215	96,879	97,691	97,481	96,628	94,826	94,360	96,583	95,401	96,659	95,122	96,042	96,469	95,327	95,430	95,180	95,370	95,993	96,981		
Si	8,001	8,103	7,992	7,962	7,993	8,009	8,095	8,053	7,907	7,781	8,032	8,017	8,003	7,972	8,022	7,892	7,983	7,974	8,040	7,985		
Al	0,000	0,000	0,008	0,038	0,007	0,000	0,000	0,000	0,093	0,219	0,000	0,000	0,000	0,028	0,000	0,094	0,017	0,026	0,000	0,015		
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000		
SOMA (T)	8,001	8,103	8,000	8,000	8,000	8,009	8,095	8,053	8,000	8,000	8,032	8,017	8,003	8,000	8,022	7,999	8,000	8,000	8,040	8,000		
Al	0,108	0,102	0,114	0,065	0,110	0,142	0,105	0,197	0,342	0,400	0,130	0,098	0,100	0,064	0,095	0,000	0,070	0,067	0,095	0,068		
Ti	0,015	0,052	0,025	0,017	0,006	0,007	0,005	0,012	0,002	0,004	0,002	0,001	0,001	0,007	0,017	0,000	0,009	0,011	0,012	0,015		
Fe ³⁺	1,286	0,689	1,035	1,289	1,626	1,578	1,295	1,413	1,461	1,668	1,512	1,643	1,749	1,814	1,712	1,968	1,845	1,856	1,680	1,746		
Mg	2,286	2,237	2,252	2,647	1,994	1,918	2,119	2,012	2,117	1,902	1,927	2,276	2,105	2,193	2,182	2,166	2,238	2,155	2,207	2,210		
Fe ²⁺	1,280	1,800	1,552	0,947	1,238	1,317	1,353	1,285	1,047	0,996	1,356	0,942	1,022	0,906	0,956	0,849	0,826	0,893	0,949	0,941		
Mn	0,024	0,017	0,023	0,034	0,027	0,030	0,028	0,028	0,030	0,030	0,040	0,024	0,021	0,017	0,016	0,017	0,011	0,017	0,018	0,019		
SOMA (C)	4,999	4,897	5,000	5,000	5,000	4,991	4,905	4,947	5,000	5,000	4,968	4,983	4,997	5,000	4,978	5,000	5,000	5,000	4,960	5,000		
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000		
Ca	0,278	0,285	0,320	0,358	0,128	0,082	0,154	0,086	0,133	0,068	0,095	0,134	0,077	0,055	0,059	0,042	0,064	0,039	0,071	0,067		
Na	1,722	1,715	1,680	1,642	1,872	1,918	1,846	1,914	1,867	1,915	1,905	1,866	1,899	1,920	1,898	1,932	1,845	1,902	1,895	1,933		
SOMA (B)	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,983	2,000	2,000	1,976	1,976	1,957	1,976	1,909	1,941	1,967	2,000		
Na	0,119	0,454	0,355	0,144	0,033	0,063	0,161	0,077	0,061	0,000	0,094	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014		
K	0,147	0,153	0,120	0,123	0,047	0,055	0,051	0,060	0,049	0,031	0,048	0,025	0,020	0,032	0,032	0,025	0,030	0,020	0,020	0,022		
SOMA (A)	0,266	0,606	0,475	0,267	0,080	0,118	0,212	0,137	0,110	0,031	0,142	0,028	0,020	0,032	0,032	0,025	0,030	0,020	0,020	0,036		
(Na+K)/A	0,266	0,606	0,475	0,267	0,080	0,118	0,212	0,137	0,110	0,031	0,142	0,028	0,020	0,032	0,032	0,025	0,030	0,020	0,020	0,036		
Mg/Mg+Fe ²⁺	0,471	0,473	0,465	0,542	0,410	0,399	0,445	0,427	0,458	0,417	0,402	0,468	0,432	0,446	0,450	0,435	0,456	0,439	0,456	0,451		

(continua...)

(Tabela 2B - continuação)

Dióxido	DKTV-02A					DKTV-02B					DKTV-04		DKTV-05							
	10	11	12	13	14	15	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	55,228	56,321	55,666	55,316	55,217	55,802	54,444	56,470	56,264	56,744	54,621	54,889	55,783	55,895	55,569	54,695	56,303	55,122	52,392	55,243
TiO ₂	0,038	0,138	0,033	0,217	0,123	0,114	0,383	0,076	0,105	0,162	0,011	0,010	0,217	0,178	0,038	0,523	0,250	0,309	2,150	0,144
Al ₂ O ₃	0,535	0,483	0,553	0,560	0,551	0,507	0,501	0,541	0,562	0,546	0,518	0,486	0,267	0,350	0,551	0,536	0,177	0,626	1,061	0,767
MnO	0,145	0,183	0,150	0,160	0,169	0,180	0,171	0,172	0,131	0,129	0,451	0,532	0,287	0,314	0,293	0,334	0,282	0,357	0,577	0,363
FeO	23,338	22,326	22,202	23,192	21,845	22,928	21,452	21,361	21,191	21,686	16,518	15,869	16,303	16,142	18,007	16,214	17,801	16,850	16,350	16,893
MgO	10,216	10,413	10,471	10,071	10,239	10,313	11,457	11,044	10,563	10,101	13,047	13,528	14,429	14,612	12,995	13,597	13,336	13,698	12,648	13,405
CaO	0,394	0,402	0,421	0,299	0,432	0,354	0,905	0,461	0,317	0,402	5,805	5,819	3,720	3,349	2,336	2,711	2,537	2,764	1,996	2,872
Na ₂ O	6,803	6,954	6,908	7,021	6,740	6,852	6,481	6,673	6,771	6,835	4,003	4,138	5,574	5,783	6,073	5,806	6,095	5,790	5,998	5,848
K ₂ O	0,128	0,167	0,180	0,172	0,146	0,135	0,574	0,232	0,197	0,182	0,911	1,089	0,752	0,811	0,549	2,277	0,861	2,143	2,851	1,344
F	0,164	0,098	0,304	0,129	0,169	0,168	0,414	0,273	0,204	0,004	0,791	0,621	0,326	0,258	0,214	0,671	0,454	0,675	0,640	0,324
Cl	0,000	0,003	0,000	0,000	0,008	0,110	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,013	0,003	0,000	0,005	0,000
Total	96,989	97,488	96,888	97,137	95,639	97,463	96,782	97,303	96,337	96,791	96,676	96,981	97,658	97,692	96,638	97,377	98,099	98,334	96,668	97,203
Si	7,911	8,016	7,983	7,930	8,008	7,956	7,822	8,011	8,075	8,123	7,989	7,985	7,913	7,899	7,945	7,915	7,981	7,883	7,716	7,920
Al	0,089	0,000	0,017	0,070	0,000	0,044	0,085	0,000	0,000	0,000	0,011	0,015	0,045	0,058	0,055	0,085	0,019	0,106	0,184	0,080
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,019	0,000	0,000	0,000	0,012	0,100	0,000
SOMA (T)	8,000	8,016	8,000	8,000	8,008	8,000	7,948	8,011	8,075	8,123	8,000	8,000	7,980	7,976	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al	0,001	0,081	0,077	0,025	0,094	0,041	0,000	0,090	0,095	0,092	0,078	0,069	0,000	0,000	0,038	0,007	0,011	0,000	0,050	
Ti	0,004	0,015	0,004	0,023	0,013	0,012	0,000	0,008	0,011	0,017	0,001	0,001	0,000	0,000	0,004	0,057	0,027	0,021	0,138	
Fe ³⁺	1,958	1,719	1,781	1,846	1,738	1,874	1,921	1,784	1,655	1,519	0,799	0,753	1,252	1,324	1,464	1,057	1,319	1,195	1,014	
Mg	2,182	2,209	2,239	2,152	2,214	2,192	2,454	2,336	2,260	2,156	2,845	2,934	3,051	3,079	2,770	2,933	2,818	2,920	2,777	
Fe ²⁺	0,837	0,938	0,882	0,934	0,911	0,859	0,625	0,750	0,888	1,076	1,221	1,178	0,681	0,584	0,689	0,905	0,791	0,820	0,999	
Mn	0,018	0,022	0,018	0,019	0,021	0,022	0,000	0,021	0,016	0,016	0,056	0,066	0,015	0,014	0,035	0,041	0,034	0,043	0,072	
SOMA (C)	5,000	4,984	5,000	5,000	4,992	5,000	5,000	4,989	4,925	4,877	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Ca	0,060	0,061	0,065	0,046	0,067	0,054	0,139	0,070	0,049	0,062	0,910	0,907	0,565	0,507	0,358	0,420	0,385	0,423	0,315	
Na	1,889	1,919	1,921	1,951	1,895	1,894	1,805	1,835	1,884	1,897	1,090	1,093	1,415	1,469	1,642	1,580	1,615	1,577	1,685	
SOMA (B)	1,950	1,980	1,985	1,997	1,962	1,948	1,965	1,905	1,933	1,959	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,074	0,118	0,115	0,041	0,049	0,060	0,029	0,067	
K	0,023	0,030	0,033	0,031	0,027	0,025	0,105	0,042	0,036	0,033	0,170	0,202	0,136	0,146	0,100	0,420	0,156	0,391	0,536	
SOMA (A)	0,023	0,030	0,033	0,031	0,027	0,025	0,105	0,042	0,036	0,033	0,215	0,276	0,254	0,261	0,141	0,470	0,216	0,420	0,563	
(Na+K)A	0,023	0,030	0,033	0,031	0,027	0,025	0,105	0,042	0,036	0,033	0,215	0,276	0,254	0,261	0,141	0,470	0,216	0,420	0,563	
Mg/Mg+Fe ²⁺	0,438	0,454	0,457	0,436	0,455	0,445	0,488	0,480	0,471	0,454	0,585	0,603	0,612	0,617	0,563	0,599	0,572	0,592	0,580	

Tabela 2C. Composições químicas de feldspatos do subexame Tavares. Legenda: **c** = centro, **b** = borda.

Dique	DKMN 9									
	1		2		3		4		5	
	c	b	c	b	c	b	c	b	c	b
SiO ₂	64,08	66,57	66,40	66,11	65,97	66,75	66,65	65,53	65,98	66,57
TiO ₂	0,08	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,09	0,04	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	18,52	19,27	19,31	19,66	19,03	19,02	19,57	19,86	19,43	19,27
Fe ₂ O ₃	0,48	0,13	0,14	0,13	0,12	0,06	0,12	0,08	0,13	0,13
CaO	0,84	0,69	0,34	0,77	0,26	0,34	0,68	0,67	0,45	0,42
BaO	0,14	0,23	0,15	0,11	0,33	0,36	0,27	0,76	0,50	0,28
Na ₂ O	2,92	7,02	6,40	6,92	6,06	6,28	7,78	6,71	6,10	6,94
K ₂ O	12,11	6,32	7,45	6,38	7,90	7,42	5,46	6,41	7,54	6,64
Total	99,17	100,21	100,19	100,12	99,67	99,28	100,63	100,05	100,16	100,28
Si	11,85	11,90	11,91	11,83	11,92	11,91	11,85	11,79	11,87	11,91
Al	4,10	4,06	4,08	4,14	4,05	4,06	4,10	4,21	4,12	4,06
Fe ³⁺	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
SOMA (T)	15,98	15,97	16,00	16,00	15,99	15,99	15,97	16,01	16,00	15,99
Ca	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,05	0,04	0,02
Ba	0,12	0,13	0,06	0,15	0,05	0,07	0,13	0,13	0,09	0,08
Na	1,96	2,43	2,23	2,40	2,12	2,21	2,68	2,34	2,13	2,41
K	1,92	1,44	1,70	1,46	1,82	1,72	1,24	1,47	1,73	1,52
SOMA (M)	4,02	4,02	4,00	4,01	4,02	4,01	4,07	3,99	3,98	4,02
Total cátions	20,01	19,99	20,01	20,01	20,01	20,00	20,04	20,00	19,98	20,01
Ab	48,70	60,50	55,60	59,80	52,80	55,00	65,90	58,60	53,50	59,80
An	2,90	3,30	1,60	1,20	1,20	1,60	3,20	3,30	2,20	2,00
Or	47,80	35,80	42,50	45,30	45,30	42,80	30,40	36,80	43,50	37,70

O K-feldspato é microclina. Ocorre como cristais de dimensões variadas, entre 0,1 e 1 mm, e morfologia subédrica a anédrica. É comum observar a macla albíta-periclina em grade, com pertitas tipo *string* e *stringlets* presentes apenas nos cristais maiores.

O piroxênio ocorre como cristais subédricos a anédricos, ora dispersos e em contato direto com feldspatos, ora formando pequenos agregados monominerálicos, com pleocroísmo variando de verde esmeralda a verde amarelado. Por vezes pode mostrar leve corrosão/absorção magmática nas bordas. Quando observada a zonação é concêntrica (Figura 6A), refletindo as variações composicionais ditadas pela troca preferencial entre Na e Ca [$\text{NaFe}^{3+} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})$] no sítio M2. Nesses casos, os centros dos cristais são predominantemente menos sódicos (egirina-augita) em relação às bordas (egirina) (Figura 7A). O anfibólio aparece em proporção significativamente menor em relação ao piroxênio. São cristais subédricos a anédricos, com forte pleocroísmo verde azulado (Figura 6B). Suas composições são sódicas, ricas em Mg [$\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ c. 0,5] mas com teores relativamente baixos em álcalis [$(\text{Na} + \text{K})_A < 0,5$], apontando para magnésio-riebeckita (Figuras 8A e 8B).

Como fases minerais acessórias em proporção não superior a 1%, ocorrem zircão e, mais raramente, titanita, na forma de cristais subédricos a euédricos. Apatita ocorre como grãos prismáticos tipicamente aciculares, frequentemente como inclusões nas fases minerais principais.

Subexame Princesa Isabel

Ao microscópio a textura é hipidiomórfica a xenomórfica, inequigranular seriada, caracterizada pelo arranjo de cristais de feldspato alcalino subédricos. A fase máfica dominante é anfibólio azul, com apatita e titanita aparecendo como acessórios.

Os cristais de microclina são equidimensionais, subédricos, mostrando macla albíta-periclina; eventualmente podem apresentar planos de macla em uma única direção. Feições texturais como micropertitas e extinção ondulante são pouco comuns.

O anfibólio é geralmente subédrico a anédrico, tendo sido observados alguns grãos euédricos com até 6 mm. É comum apresentar-se em formas aciculares, dispostas em arranjos radiais (Figura 6C). Grande parte dos cristais

Tabela 2D. Composições químicas de micas do subexame Serra Talhada. *Legenda: c = centro, b = borda.*

Dique	DKST-01							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	c	c	b	c	b	c	b	b
SiO ₂	36,05	35,82	36,02	36,22	35,77	35,58	36,98	35,03
TiO ₂	5,90	7,46	7,89	7,60	7,58	6,81	6,04	8,79
Al ₂ O ₃	15,19	15,86	15,76	15,87	16,88	16,27	16,16	14,44
FeO	14,81	11,92	13,49	14,13	11,21	13,85	11,26	16,41
MnO	0,23	0,05	0,07	0,12	0,07	0,13	0,06	0,14
MgO	14,26	15,57	14,69	14,14	15,40	14,80	16,77	11,77
CaO	0,04	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00
BaO	0,00	0,91	0,75	0,06	0,76	1,19	0,00	2,55
Na ₂ O	0,38	0,40	0,54	0,43	0,21	0,44	0,15	0,10
K ₂ O	9,70	9,50	9,00	9,57	9,69	9,26	10,22	8,88
F	0,32	0,28	0,21	0,50	0,55	0,42	0,61	0,51
Cl	0,03	0,06	0,06	0,03	0,04	0,10	0,08	0,05
Cr ₂ O ₃	0,13	0,00	0,03	0,00	0,03	0,01	na	0,00
	96,91	97,82	98,52	98,65	98,16	98,84	98,37	98,67
O-F, Cl	0,14	0,13	0,10	0,22	0,24	0,20	0,27	0,22
Total	96,77	97,69	98,42	98,43	97,92	98,64	98,10	98,45
Si	5,343	5,221	5,226	5,261	5,181	5,193	5,325	5,244
Al IV	2,652	2,722	2,692	2,714	2,819	2,769	2,675	2,545
Fe ³⁺	0,005	0,057	0,082	0,025	0,000	0,011	0,000	0,211
SOMA TETRAÉDRICA	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al IV	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,000	0,066	0,000
Ti	0,658	0,818	0,861	0,830	0,825	0,748	0,654	0,989
Fe ²⁺	1,831	1,396	1,554	1,691	1,357	1,680	1,356	1,843
Cr	0,015	0,000	0,004	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000
Mn	0,028	0,006	0,008	0,015	0,009	0,016	0,008	0,018
Mg	3,152	3,384	3,176	3,061	3,326	3,220	3,599	2,627
SOMA OCTAÉDRICA	5,684	5,604	5,603	5,597	5,581	5,665	5,683	5,477
Ba	0,000	0,052	0,042	0,003	0,043	0,068	0,000	0,150
Ca	0,007	0,000	0,007	0,000	0,001	0,000	0,005	0,000
Na	0,108	0,113	0,152	0,120	0,060	0,123	0,042	0,029
K	1,834	1,766	1,665	1,774	1,790	1,724	1,877	1,695
SOMA INTERCAMADA	1,949	1,931	1,866	1,897	1,894	1,915	1,924	1,874
Total cátions	15,633	15,535	15,469	15,494	15,475	15,580	15,607	15,351
F	0,299	0,257	0,195	0,459	0,500	0,387	0,554	0,483
Cl	0,016	0,032	0,031	0,015	0,018	0,049	0,039	0,023

maiores têm zonação pleocroica, de tons azulados no centro passando a matizes levemente esverdeadas nas bordas. Apresentam relativa variação composicional entre tipos sódicos e sódicos-cálcicos (Figura 8A). A proporção de álcalis no sítio estrutural A dita a variação observada nos anfíbólios sódicos, predominantemente entre magnésio-riebeckita $[(Na+K)_A < 0,5]$ (Figura 8B) e ferro-ekermanita-arfvedsonita $[(Na+K)_A \geq 0,5]$. Composições de ferro-richterita com $[(Ca+Na)_B \geq 1]$ definem os tipos sódicos-cálcicos, de ocorrência subordinada.

Subexame Tavares

Compreende rochas com textura tipicamente subvulcânica, definida por cristais de feldspato alcalino imersos em matriz fanerítica fina predominantemente constituída por ripas de feldspato e, menos comumente, anfibólio. Piroxênio e anfibólio também ocorrem como microfenocristais.

Os microfenocristais de feldspato são tabulares euédricos a subédricos, equidimensionais, com tamanhos variando entre 0,5 e 2 mm. Geminação polissintética é larga-

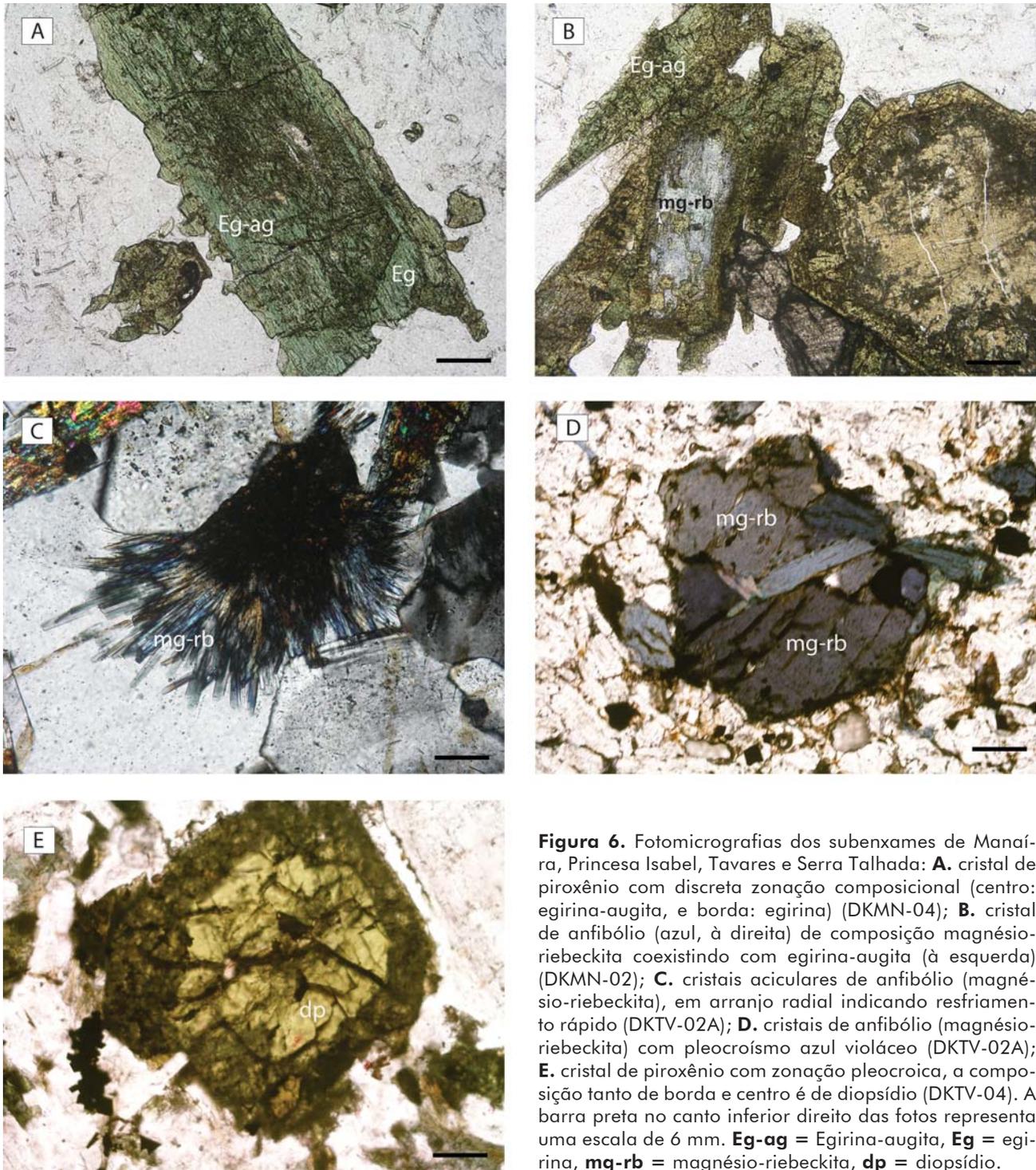


Figura 6. Fotomicrografias dos subenxames de Manáira, Princesa Isabel, Tavares e Serra Talhada: **A.** cristal de piroxênio com discreta zonação composicional (centro: egirina-augita, e borda: egirina) (DKMN-04); **B.** cristal de anfíbólio (azul, à direita) de composição magnésio-riebeckita coexistindo com egirina-augita (à esquerda) (DKMN-02); **C.** cristais aciculares de anfíbólio (magnésio-riebeckita), em arranjo radial indicando resfriamento rápido (DKTV-02A); **D.** cristais de anfíbólio (magnésio-riebeckita) com pleocroísmo azul violáceo (DKTV-02A); **E.** cristal de piroxênio com zonação pleocroica, a composição tanto de borda e centro é de diopsídio (DKTV-04). A barra preta no canto inferior direito das fotos representa uma escala de 6 mm. **Eg-ag** = Egirina-augita, **Eg** = egirina, **mg-rb** = magnésio-riebeckita, **dp** = diopsídio.

mente observada. Sua composição química evidencia uma solução sólida entre tipos sódicos e potássicos (centro: $Ab_{48,7}An_{1,2}Or_{30,4}$ a $Ab_{65,9}An_{3,2}Or_{47,8}$, e borda: $Ab_{55,0}An_{1,6}Or_{35,8}$ a $Ab_{60,5}An_{3,7}Or_{42,8}$). Estão igualmente presente na matriz, todavia apresentando-se como cristais ripiformes, subeu-drais, com grau incipiente de sericitização.

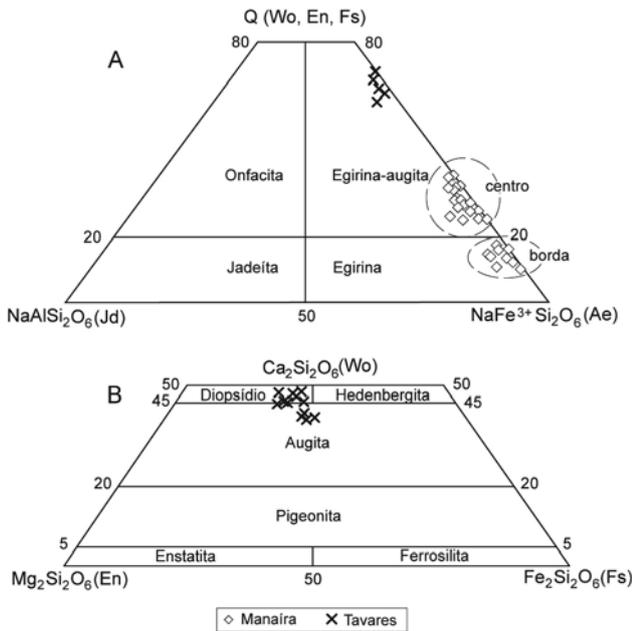


Figura 7. Diagrama de classificação para piroxênios (Morimoto et al., 1988): **A.** sódicos, dos subexames Manaíra e Tavares; **B.** cálcicos, do subexame Tavares.

Anfibólio é a fase máfica mais expressiva, com hábito e composições variáveis (Figura 8A). O tipo dominante ocorre como cristais euédricos a subédricos, com dimensões entre 1 - 2,5 mm, e pleocroísmo variando entre azul violáceo e azul escuro (Figura 6D). Também ocorre como agregados aciculares, radiais, por vezes com alteração para óxido de ferro. Sua composição é de um anfibólio sódico, com $[(Na+K)_A < 0,5]$, $(Na_B \geq 1,5)$, e $Mg\# [Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ em torno de 0,5. A proporção variável de ^{VI}Al em relação a Fe^{3+} classifica-o como magnésio-riebeckita e ferro-glaucofana (Figura 8B). Um tipo subordinado de anfibólio, com pleocroísmo em tons de verde aparece isolado ou formando mantos em torno do anfibólio azul. Sua composição é sódico-cálcica, tipo winchita. O piroxênio ocorre ora formando agregados, subédricos a euédricos, por vezes exibindo leve zonação definida por discretas variações pleocroicas, em tons de verde. Sua composição é essencialmente egirina-augita ($Mg\# 0,64-0,71$) (Figura 7A). Um segundo tipo ocorre como cristais isolados, com zonação pleocroica discreta a ausente (Figura 6E), sendo sua composição cálcica, variando entre diopsídio e augita ($Mg\#$ entre 0,62 e 0,75) (Figura 7B).

Subexame Serra Talhada

Ao microscópio a textura geral é fanerítica fina, representada principalmente por cristais xenomórficos de microclina, de granulação bastante homogênea. Sericita aparece pervasivamente como produto de alteração tardia, em especial ao longo dos planos de macla polissintética. Nos cristais maiores, a sericita tende a acompanhar o zonamento concêntrico.

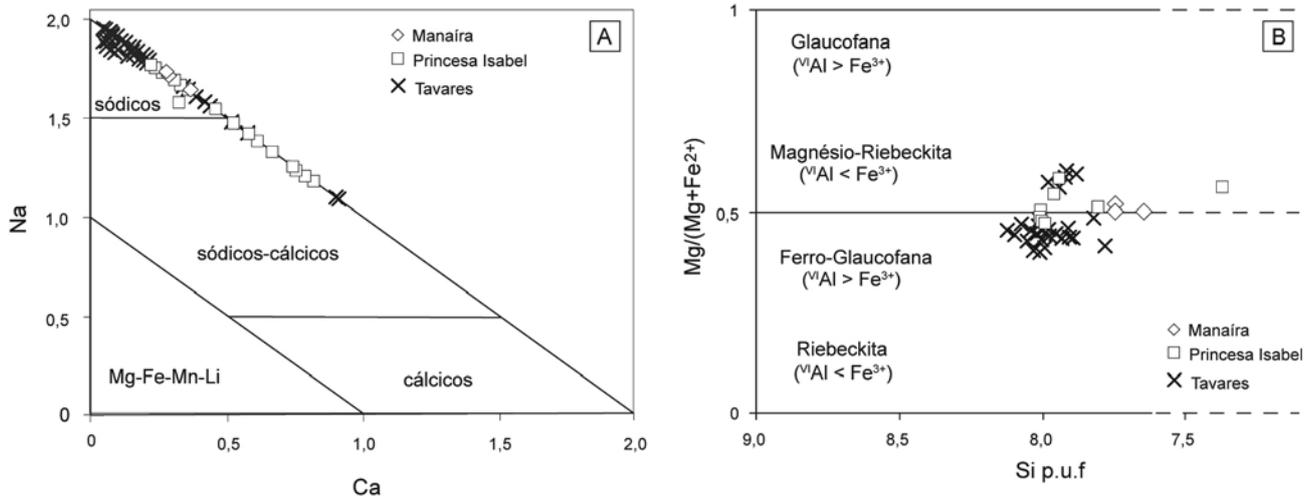


Figura 8. Diagramas de classificação para anfibólios (Leake, 1997): **A.** Na vs. Ca; **B.** $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ -Si, onde os parâmetros químicos/estruturais são: $(Na+K)_A < 0,5$; $Na_B \geq 1,5$; $(Mg+Fe^{2+}+Mn^{2+}) > 2,5$; $(^{VI}Al$ ou $Fe^{3+}) > Mn^{3+}$; $Li < 0,5$; $(Mg$ ou $Fe^{2+}) > Mn^{2+}$.

A fase máfica dominante é a biotita, com $Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)$ entre 0,25 - 0,4 e ^{IV}Al entre 1,2 - 1,4. O conteúdo em BaO é baixo (< que 1,2), associado a valores de TiO_2 que variam entre 5,9 e 7,9, com apenas uma análise (ponto 8; Tabela 2.D) mostrando valores mais elevados para esses óxidos. Ocorre preferencialmente como cristais isolados, de até 0,8 mm em seu eixo maior, mas também formando pequenos agregados entre feldspatos. Em geral apresenta pleocroísmo em tons de castanho a castanho avermelhado; alteração para clorita é determinada por variações pleocroicas em tons esverdeados e pequenas inclusões de óxidos ao longo dos planos de clivagem.

LITOQUÍMICA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA

Um conjunto de dezoito amostras representativas de todos os quatro subenxames foi selecionado para análises litoquímicas e isotópicas. Foram determinados os teores para elementos maiores, menores/traços, e terras-raras. Os resultados são expressos em termos de % em peso para os óxidos, e em ppm para os demais, todos listados na Tabela 3. A concentração dos óxidos foi dosada por fluorescência de raios-X, no Laboratório de FRX do IGc/USP; detalhes sobre procedimento analítico estão descritos no Apêndice C. As análises de elementos maiores foram recalculadas para uma base livre de voláteis (segundo parâmetros de Irvine e Baragar, 1971), totalizando 100%. Os valores recalculados são também apresentados na Tabela 3, sendo estes os dados analíticos plotados nos diagramas per-

tinentes. As concentrações de elementos menores, traços e terras-raras foram dosadas por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), no *Acme Analytical Laboratories Ltda*, Canadá.

As razões isotópicas $^{87}Sr/^{86}Sr$, $^{143}Nd/^{144}Nd$ ($= \epsilon_{Nd}$) e $^{206,207,208}Pb/^{204}Pb$ foram determinadas para o mesmo conjunto analisado para litoquímica em rocha total. Os valores apresentados são aqueles iniciais, recalculados para idade de 600 Ma. As análises foram realizadas nos laboratórios específicos do Centro de Pesquisas Geocronológicas do IGc/USP. Todo o conjunto de dados está listado na Tabela 4. A rotina dos procedimentos analíticos está descrita no Apêndice D.

Elementos maiores

Em termos de conteúdo de sílica as amostras definem um espectro de saturação que varia em 59 - 69%, combinando a teores de álcalis entre 9 - 16%. Esses valores permitem classificar geoquimicamente os diques em sienitos (subenxames Tavares, Manaíra e Princesa Isabel) e álcali-granitos (subenxame Serra Talhada) (Figura 9A), todos saturados em sílica; exceção é a amostra DKTV-01 (subenxame Tavares) a qual tem características distintas, com álcalis total >15% e ausência de quartzo-normativo. Com respeito à saturação em alumina, os diques dos subenxames Tavares, Manaíra e Princesa Isabel têm afinidade peralcalina (Figura 12), com tendência potássica a ultrapotássica (K_2O entre c. 7-13%; $\% K_2O/Na_2O > 2$, segundo Foley et al., 1987). A afinidade

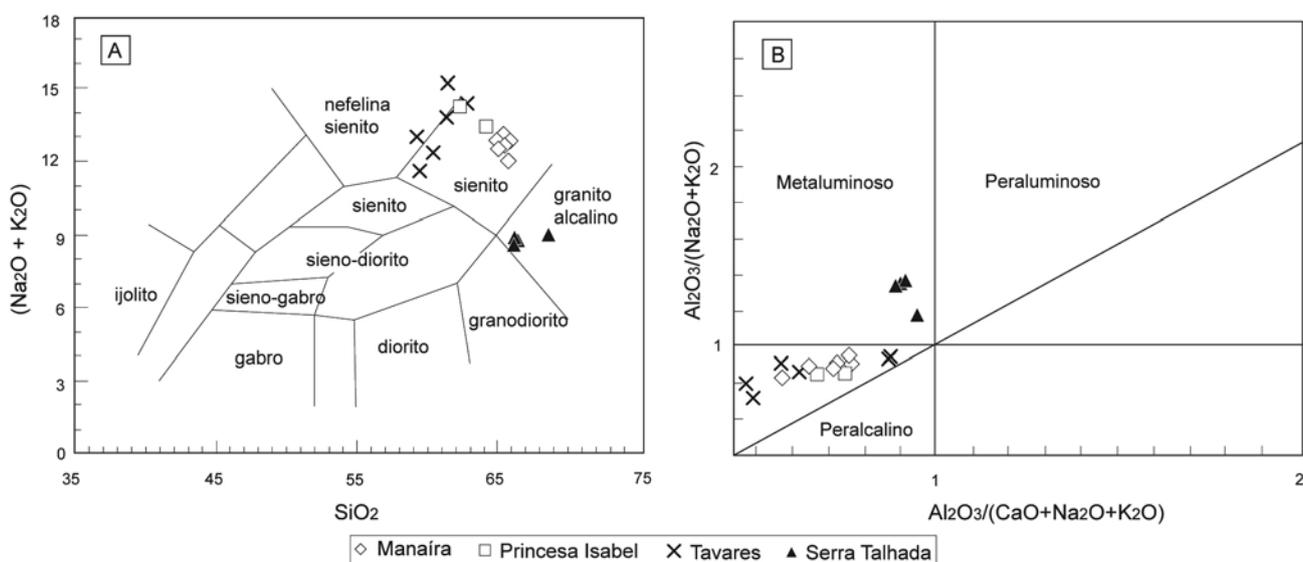


Figura 9. Diagramas de classificação geoquímica: **A.** álcalis total vs. sílica (Cox et al., 1979); **B.** índice de saturação em alumina (índice de Shand).

Tabela 3. Análises litológicas (elementos maiores e traços) para diques dos subexames Manaíra, Princesa Isabel, Tavares e Serra Talhada. **A.** valores percentuais de óxidos com LOI; **B.** valores percentuais de óxidos calculados sem LOI; **C.** valores normativos; e **D.** valores em ppm dos elementos traços/terras-raras.

Dique	DKMN 04	DKMN 05	DKMN 06	DKMN 08	DKMN 09	DKMN 10	DKP1 01	DKP1 02	DKST 01	DKST 02	DKST 03	DKST 05	DKTV 01	DKTV 2A	DKTV 2B	DKTV 03	DKTV 04	DKTV 05	
A.																			
SiO ₂	65,17	64,89	64,92	64,12	64,70	64,39	63,06	61,28	67,15	65,45	64,45	65,34	60,16	58,29	62,11	60,99	58,62	58,72	
Al ₂ O ₃	13,85	13,62	13,56	13,14	12,63	13,43	12,56	14,06	14,66	15,65	15,37	15,78	15,78	12,62	14,70	14,01	10,73	10,71	
MnO	0,09	0,10	0,12	0,09	0,10	0,09	0,17	0,13	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,13	0,07	0,12	0,17	0,17	
MgO	0,58	0,66	0,83	0,89	0,75	1,07	1,00	1,37	1,55	1,73	1,89	1,79	1,04	1,32	1,17	0,89	2,75	3,73	
CaO	1,22	1,68	1,70	2,13	2,39	1,70	1,34	0,68	1,93	2,72	2,65	2,71	0,36	3,81	0,37	2,33	4,43	3,12	
Na ₂ O	4,74	4,21	4,75	4,10	3,84	3,35	2,78	4,17	4,12	4,30	4,33	4,33	1,71	2,26	1,99	3,06	2,13	2,98	
K ₂ O	7,92	8,36	7,23	8,67	9,24	8,96	10,65	10,14	4,93	4,56	4,27	4,44	13,56	10,00	12,29	10,89	9,61	9,96	
TiO ₂	0,46	0,46	0,45	0,62	0,44	0,54	0,64	0,65	0,31	0,48	0,49	0,48	0,40	0,78	0,70	0,66	0,98	0,87	
P ₂ O ₅	0,11	0,12	0,05	0,12	0,11	0,12	0,22	0,14	0,15	0,22	0,23	0,23	0,23	0,38	0,19	0,19	0,32	1,08	
Fe ₂ O ₃	4,57	4,72	4,67	4,76	4,89	4,85	6,00	5,80	2,74	3,52	3,68	3,57	4,75	6,81	5,09	6,12	8,82	7,87	
LOI	0,53	0,32	0,20	0,53	0,38	0,36	0,58	0,52	2,02	1,34	2,04	1,24	0,70	2,63	0,40	0,34	0,50	0,74	
Total	99,24	99,14	98,48	99,18	99,47	98,86	99,01	98,95	99,59	100,01	99,45	99,95	98,77	99,04	99,09	99,60	99,06	99,96	
B.																			
SiO ₂	66,02	65,67	66,06	65,00	65,29	65,37	64,07	62,26	68,82	66,33	66,16	66,19	61,34	60,46	62,94	61,44	59,47	59,18	
Al ₂ O ₃	14,03	13,78	13,80	13,32	12,75	13,63	12,76	14,28	15,02	15,86	15,78	15,99	16,09	13,09	14,90	14,11	10,89	10,79	
MnO	0,09	0,10	0,12	0,09	0,10	0,09	0,18	0,13	0,04	0,04	0,05	0,04	0,08	0,14	0,07	0,12	0,18	0,18	
MgO	0,59	0,67	0,84	0,90	0,76	1,09	1,02	1,39	1,59	1,75	1,94	1,81	1,06	1,37	1,19	0,90	2,79	3,76	
CaO	1,24	1,70	1,73	2,16	2,41	1,73	1,36	0,69	1,98	2,76	2,72	2,75	0,37	3,95	0,37	2,35	4,49	3,14	
Na ₂ O	4,80	4,26	4,83	4,16	3,88	3,40	2,82	4,24	4,22	4,36	4,45	4,39	1,74	2,34	2,02	3,08	2,16	3,00	
K ₂ O	8,02	8,46	7,36	8,79	9,32	9,10	10,82	10,30	5,05	4,62	4,38	4,50	13,83	10,37	12,45	10,97	9,75	10,04	
TiO ₂	0,46	0,46	0,46	0,63	0,44	0,55	0,65	0,66	0,31	0,49	0,51	0,48	0,41	0,81	0,71	0,66	0,99	0,87	
P ₂ O ₅	0,11	0,12	0,05	0,12	0,11	0,12	0,23	0,15	0,15	0,22	0,24	0,23	0,23	0,40	0,20	0,19	0,33	1,09	
Fe ₂ O ₃	4,63	4,78	4,75	4,83	4,93	4,92	6,10	5,89	2,81	3,57	3,78	3,62	4,84	7,06	5,16	6,17	8,95	7,93	
C.																			
Quatzo (Q)	9,56	9,47	9,57	9,31	10,89	9,33	9,83	2,75	17,37	13,71	13,57	13,63	0,00	2,34	3,74	1,93	4,25	5,02	
Plagioclásio	27,51	23,78	30,00	19,57	13,69	19,44	5,39	16,10	42,83	46,95	47,80	47,78	5,76	9,59	7,32	11,50	1,73	0,00	
Ortoclásio	47,40	50,00	43,49	51,95	55,08	53,78	63,94	60,87	29,84	27,30	25,88	26,59	81,73	61,28	73,57	64,83	57,62	58,91	
Diopsídio	4,71	6,61	7,10	8,51	9,69	6,66	4,51	2,08	1,42	1,82	1,48	1,25	0,28	14,55	0,45	8,99	16,99	7,04	
Hiperstênio	5,71	5,17	5,36	4,47	4,10	6,31	9,05	10,81	7,11	8,17	9,13	8,70	2,60	5,97	9,79	6,41	11,11	17,20	
Olivina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Acrmita	0,67	0,69	0,69	0,69	0,72	0,72	0,87	0,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	1,01	0,75	0,90	1,30	1,16	
K ₂ SiO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	
Na ₂ SiO ₃	2,87	2,67	2,35	3,45	4,26	1,98	4,07	4,38	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	2,11	2,08	3,15	3,51	5,60	
Ilmenita	0,87	0,87	0,87	1,20	0,84	1,04	1,23	1,25	0,59	0,93	0,97	0,91	0,78	1,54	1,35	1,25	1,88	1,65	
Magnetita	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,28	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Apatita	0,25	0,28	0,12	0,28	0,25	0,28	0,53	0,35	0,35	0,51	0,56	0,53	0,53	0,93	0,46	0,44	0,76	2,53	

(continua...)

(Tabela 3 - continuação)

Dique	DKMN 04	DKMN 05	DKMN 06	DKMN 08	DKMN 09	DKMN 10	DKP1 01	DKP1 02	DKST 01	DKST 02	DKST 03	DKST 05	DKTV 01	DKTV 2A	DKTV 2B	DKTV 03	DKTV 04	DKTV 05	
D.																			
Ba	3695	4140	2976	3299	2994	3458	6456	5643	1984	1840	1952	1832	9769	5621	7606	4427	4040	5612	
Cs	5,4	4,2	5,6	5,6	5	4,3	1,8	3,1	4,5	3,8	2,6	2,7	6,9	2,5	2,6	3,5	3,6	2,8	
Rb	313	384	284	361	356	384	337	347	154	142	129	130	482	362	405	374	294	337	
Sr	239	480	436	338	757	326	404	525	692	884	824	901	700	531	427	558	476	920	
Th	11,8	4	8,2	18,9	20,3	24	11,6	3,3	15,5	10,5	10,8	11	6,6	19,7	10,6	9	14,8	7,9	
U	6,0	1,0	4,2	17,4	3,1	5,4	5,0	2,9	3,5	2,8	2,7	2,6	3,1	3,9	1,1	2,2	2,8	2,1	
Ga	21,6	19,7	20,1	19,8	19	20,2	19,7	20,5	18,1	20,2	20	20,3	14,2	18,1	15,5	19,3	14,8	14	
Ta	0,9	0,8	0,9	1,9	0,6	1	0,7	0,9	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,9	0,7	1	0,8	
Nb	17,4	9,8	17	28,1	8,2	19,5	15,6	15,9	6,3	5,7	5,9	5,9	7,4	18,4	13,5	9,5	14,2	12,2	
V	67	112	72	76	87	72	140	99	36	51	57	52	65	104	73	98	129	107	
Zr	450	256	365	1086	230	439	363	327	198	192	188	195	220	418	230	252	353	263	
Hf	11,9	7,8	10	22,9	6,7	11,3	9	8,3	5,7	5,2	5	5,5	6,5	11,2	6,9	7,6	9,6	8,2	
Y	192	26,4	27	57,1	13,3	35,4	39,8	27,7	9,4	8,5	8,9	8,9	41,3	40,6	20,5	36,4	117,2	44,6	
Pb	54,1	55,7	89,9	73,2	47,6	38,4	88,4	70,5	49,2	29,4	21,7	22,5	28,2	55,5	18,5	33,1	18,5	27,2	
Ni	1,9	4,8	1,5	1,9	1,5	1,6	3,8	8,5	42,1	28,4	32,5	31,3	2,5	2,5	1,4	4,5	10,2	2,3	
La	162,2	61,9	53,9	44,8	35,4	102,4	85,8	44,6	57,3	52	52,2	52,5	57,7	86	54,4	63,2	229,8	117,9	
Ce	353,1	122,6	95,1	87,9	76,5	183,9	152,7	81,6	100,4	94,5	92,8	93,1	95,6	158,5	103,7	125,7	255,3	228,1	
Pr	49,48	14,35	9,86	10,37	8,84	19,19	17,09	9,42	10,44	10,3	10,3	10,21	12,18	18,92	12,17	14,82	44,61	27,55	
Nd	189,5	54,1	33,6	40,2	34,6	65,7	65	34,1	34,8	34,8	35	35,3	48,8	74,7	49,9	58,7	175	112	
Sm	37,6	11,1	6,9	9	6,5	12,4	12,4	6,4	4,9	5,1	5,4	5,2	9,6	14,9	9,1	12	31,4	21,2	
Eu	8,06	2,33	1,32	2,09	1,31	2,34	3,11	1,17	1,03	1,16	1,08	1,14	1,83	3,29	1,72	2,82	7,22	4,23	
Gd	30,88	7,89	4,81	6,65	4,41	7,51	10,33	4,51	2,49	2,5	2,61	2,65	7,31	10,93	5,67	9,34	27	14,16	
Tb	5,15	1,19	0,79	1,17	0,53	1,21	1,54	0,76	0,37	0,36	0,35	0,35	1,03	1,64	0,78	1,39	3,91	1,86	
Dy	27,51	5,92	4,64	7,9	2,83	7,08	8,42	4,52	2,02	1,88	1,94	1,99	6,2	8,62	4,5	7,62	21,22	9,55	
Ho	5,19	0,94	0,89	1,8	0,42	1,12	1,42	0,91	0,28	0,3	0,31	0,29	0,98	1,45	0,72	1,24	3,84	1,58	
Er	13,46	2,46	2,32	6,07	1,22	3,18	3,8	2,88	0,83	0,69	0,76	0,76	2,58	3,97	1,99	3,31	9,55	3,93	
Tm	1,96	0,35	0,41	1,14	0,2	0,55	0,53	0,51	0,14	0,1	0,1	0,1	0,36	0,53	0,3	0,44	1,33	0,54	
Yb	10,72	2,06	2,5	7,17	1,22	3,1	3,1	2,63	0,84	0,7	0,72	0,63	2,15	3,34	1,72	2,75	6,87	3,44	
Lu	1,65	0,34	0,43	1,06	0,23	0,45	0,42	0,42	0,12	0,12	0,11	0,11	0,3	0,5	0,28	0,41	0,94	0,44	

Tabela 4. Análises isotópicas Sr, Nd e Pb para diques dos subenxames Manaíra, Princesa Isabel, Tavares e Serra Talhada. Em **A**, as razões isotópicas de Sr, Nd e Pb com subscrito (0) correspondem a valores atuais ($t = 0$), enquanto que em **B**, são listadas as razões com subscrito (i), calculadas para $t = 600$ Ma. Os valores de ϵ_{Nd} foram calculados a partir da equação: $10^4 \{ [(^{143}Nd/^{144}Nd)_{medido}/0,51264] - 1 \}$. T_{DM} é uma idade-modelo calculada com relação ao manto empobrecido, cujas razões atuais são: $^{147}Sm/^{144}Nd = 0,222$ e $^{143}Nd/^{144}Nd = 0,513114$. As razões isotópicas $^{206,207}Pb/^{204}Pb$ foram corrigidas para fracionamento isotópico de 0,11% u.m.a., enquanto as razões $^{208}Pb/^{204}Pb$ foram corrigidas para o valor de 0,07% u.m.a.

Dique	DKMN-04	DKMN-05	DKMN-06	DKMN-08	DKMN-09	DKMN-10	DKP1-01	DKP1-02	DKST-01
A.									
$^{87}Sr/^{86}Sr$ (0)	0,72794	0,72852	0,72467	0,73526	0,72225	0,73903	0,72931	0,72386	0,71495
erro (1 σ)	0,00007	0,00005	0,00011	0,00002	0,00007	0,00010	0,00005	0,00004	0,00004
Rb/Sr (calc)	1,31	0,80	0,65	1,07	0,47	1,18	0,83	0,66	0,22
$^{143}Nd/^{144}Nd$ (0)	0,511693	0,511581	0,511595	0,511655	0,511513	0,511465	0,511434	0,511591	0,511242
erro (1 σ)	0,000013	0,000014	0,000008	0,000011	0,000012	0,000017	0,000009	0,000010	0,000009
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0,1137	0,1191	0,111	0,1313	0,1129	0,1067	0,1264	0,1115	0,0815
erro (1 σ)	0,0007	0,0007	0,0007	0,0008	0,0007	0,0006	0,0008	0,0007	0,0005
ENd(0)	-18,4	-20,6	-20,3	-19,2	-21,9	-22,9	-23,5	-20,4	-27,2
$^{206}Pb/^{204}Pb$	17,312	16,869	17,153	17,806	17,125	17,808	17,047	16,932	16,726
erro (1 σ)	0,006	0,005	0,039	0,020	0,007	0,013	0,014	0,011	0,007
$^{207}Pb/^{204}Pb$	15,476	15,406	15,443	15,548	15,494	15,543	15,45	15,397	15,47
erro (1 σ)	0,006	0,006	0,042	0,023	0,006	0,011	0,014	0,011	0,006
$^{208}Pb/^{204}Pb$	37,696	37,269	37,609	37,951	37,926	38,459	37,493	37,201	37,439
erro (1 σ)	0,007	0,006	0,042	0,022	0,007	0,012	0,015	0,011	0,006
B.									
$^{87}Sr/^{86}Sr$ (i)	0,69545	0,70867	0,70851	0,70875	0,71059	0,70978	0,70862	0,70747	0,70944
$^{143}Nd/^{144}Nd$ (i)	0,511246	0,511113	0,511159	0,511139	0,511069	0,511045	0,510937	0,511153	0,510922
ENd(i)	-12,1	-14,7	-13,8	-14,2	-15,5	-16,0	-18,1	-13,9	-18,4
TDM (Ga)	1,99	2,26	2,08	2,44	2,23	2,17	2,66	2,09	2,02
$^{206}Pb/^{204}Pb$ (i)	16,555	16,154	16,411	17,003	16,386	17,004	16,315	16,211	16,025
$^{207}Pb/^{204}Pb$ (i)	15,431	15,363	15,399	15,500	15,450	15,495	15,406	15,354	15,428
$^{208}Pb/^{204}Pb$ (i)	37,676	37,218	37,586	37,939	37,904	38,453	37,475	37,166	37,433
Dique	DKST-02	DKST-03	DKST-05	DKTV-01	DKTV-2A	DKTV-2B	DKTV-03	DKTV-04	DKTV-05
A.									
$^{87}Sr/^{86}Sr$ (0)	0,71201	0,71201	0,71181	0,70799	0,72419	0,73072	0,72454	0,72277	0,71664
erro (1 σ)	0,00006	0,00007	0,00008	0,00003	0,00009	0,00006	0,00003	0,00010	0,00003
Rb/Sr (calc)	0,16	0,16	0,14	0,69	0,68	0,95	0,67	0,62	0,37
$^{143}Nd/^{144}Nd$ (0)	0,511301	0,511323	0,511294	0,511637	0,511613	0,511481	0,51156	0,511875	0,511716
erro (1 σ)	0,000010	0,000013	0,000011	0,000009	0,000009	0,000011	0,000008	0,000008	0,000013
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0,0851	0,0851	0,0845	0,1212	0,1442	0,1095	0,1205	0,1196	0,1057
erro (1 σ)	0,0005	0,0005	0,0005	0,0007	0,0009	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007
ENd(0)	-26,1	-25,7	-26,2	-19,5	-20,0	-22,6	-21,0	-14,9	-18,0
$^{206}Pb/^{204}Pb$	16,755	16,739	16,73	17,065	16,913	16,705	17,122	17,068	17,032
erro (1 σ)	0,009	0,005	0,018	0,012		0,005	0,008		
$^{207}Pb/^{204}Pb$	15,454	15,464	15,449	15,44	15,42	15,421	15,434	15,401	15,383
erro (1 σ)	0,009	0,005	0,019	0,011		0,005	0,013		
$^{208}Pb/^{204}Pb$	37,205	37,246	37,215	37,342	37,36	37,243	37,578	37,613	37,323
erro (1 σ)	0,008	0,006	0,016	0,011		0,004	0,009		
B.									
$^{87}Sr/^{86}Sr$ (i)	0,70803	0,70813	0,70824	0,69094	0,70729	0,70718	0,70792	0,70742	0,70756
$^{143}Nd/^{144}Nd$ (i)	0,510966	0,510988	0,510962	0,511160	0,511046	0,511050	0,511086	0,511405	0,511300
ENd(i)	-17,5	-17,1	-17,6	-13,8	-16,0	-15,9	-15,2	-9,0	-11,0
TDM (Ga)	2,01	1,99	2,01	2,22	2,92	2,2	2,32	1,84	1,83
$^{206}Pb/^{204}Pb$ (i)	16,051	16,036	16,028	16,332	16,194	16,006	16,383	16,334	16,302
$^{207}Pb/^{204}Pb$ (i)	15,412	15,422	15,407	15,396	15,377	15,379	15,390	15,357	15,339
$^{208}Pb/^{204}Pb$ (i)	37,196	37,238	37,207	37,310	37,352	37,228	37,557	37,600	37,293

peralcalina é igualmente comprovada pelos valores do índice agpaítico (Liégeois e Black, 1987), os quais variam entre 1,11 e 1,47. Por sua vez, os diques do subexame Serra Talhada apresentam razões $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ mais altas e valores para o índice agpaítico entre 0,76 - 0,83, indicando afinidade metaluminosa.

O comportamento diferenciado dos elementos maiores nos quatro subexames estudados é graficamente demonstrado em diagramas de variação tipo Harker (Figura 10). A distribuição das amostras dos quatro subexames não permite definir um *trend* único de cristalização fracionada. Analisados isoladamente, os subexames de Manaira

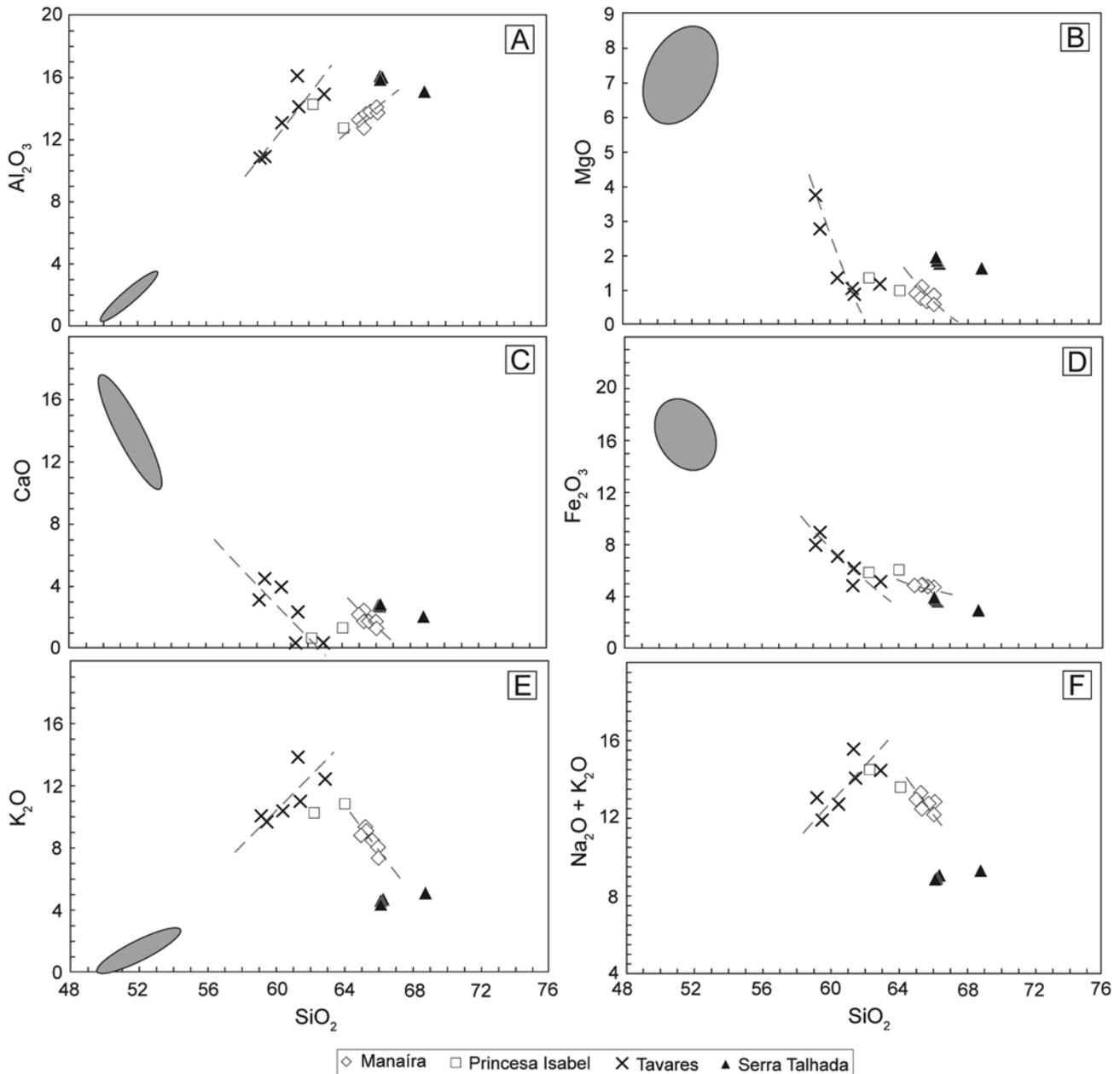


Figura 10. Diagramas de variação entre óxidos (tipo Harker) para as amostras dos subexames Manaira, Princesa Isabel, Tavares e Serra Talhada. Para comparação, são ilustradas as composições de piroxenitos (campo cinza) associados ao sienito de Triunfo (dados de Ferreira et al., 1994).

e Tavares mostram comportamentos semelhantes quanto a Al_2O_3 , MgO , CaO e Fe_2O_3 (Figuras 10A a 10D). O teor de alumina nos dois grupos aumenta proporcionalmente com a diferenciação, enquanto que álcalis (Na+K) apresenta comportamentos contrastantes quando os dois grupos são considerados individualmente. Se tomados em conjunto, é possível visualizar um *trend* com forte inflexão entre os dois grupos de amostras, sugerindo que feldspato e as fases máficas sódicas (principalmente anfibólio) fracionaram mais significativamente a partir de teores de sílica em torno de 63% (Figuras 10E e 10F). Anfibólio sódico em Manaíra é claramente tardio, produto de desestabilização de piroxênio que, por sua vez, apresenta zonamento cálcico-sódico, com teores maiores de Na (egirina) nas bordas.

MgO , Fe_2O_3 e CaO apresentam comportamento decrescente com relação à diferenciação, sugerindo que fracionamento de piroxênio (egirina-augita em Manaíra e Tavares, e também os tipos cálcicos neste último subexame) foi constante ao longo de toda a história de cristalização do

exame de diques. Ainda, o comportamento de Ti e P (não ilustrado) nos dois subexames indica o controle pelo fracionamento de titanita e apatita, respectivamente.

O número reduzido de análises (apenas duas) do subexame Princesa Isabel não permite comentar sobre a importância de cristalização fracionada como mecanismo petrogenético. Da mesma forma, a avaliação do subexame Serra Talhada fica prejudicada face a relativa homogeneidade composicional entre as amostras, uma vez que três delas apresentam valores para óxidos estritamente semelhantes.

Elementos traços e terras-raras

As Figuras 11 e 12 ilustram o comportamento dos elementos traços em diagramas multielementos e terras-raras, respectivamente. Analisados em conjunto, o padrão de variação de elementos incompatíveis é semelhante em todos os quatro subexames, com pequenas diferenças que podem refletir a história de fracionamento mineral individual de cada dique. A saber:

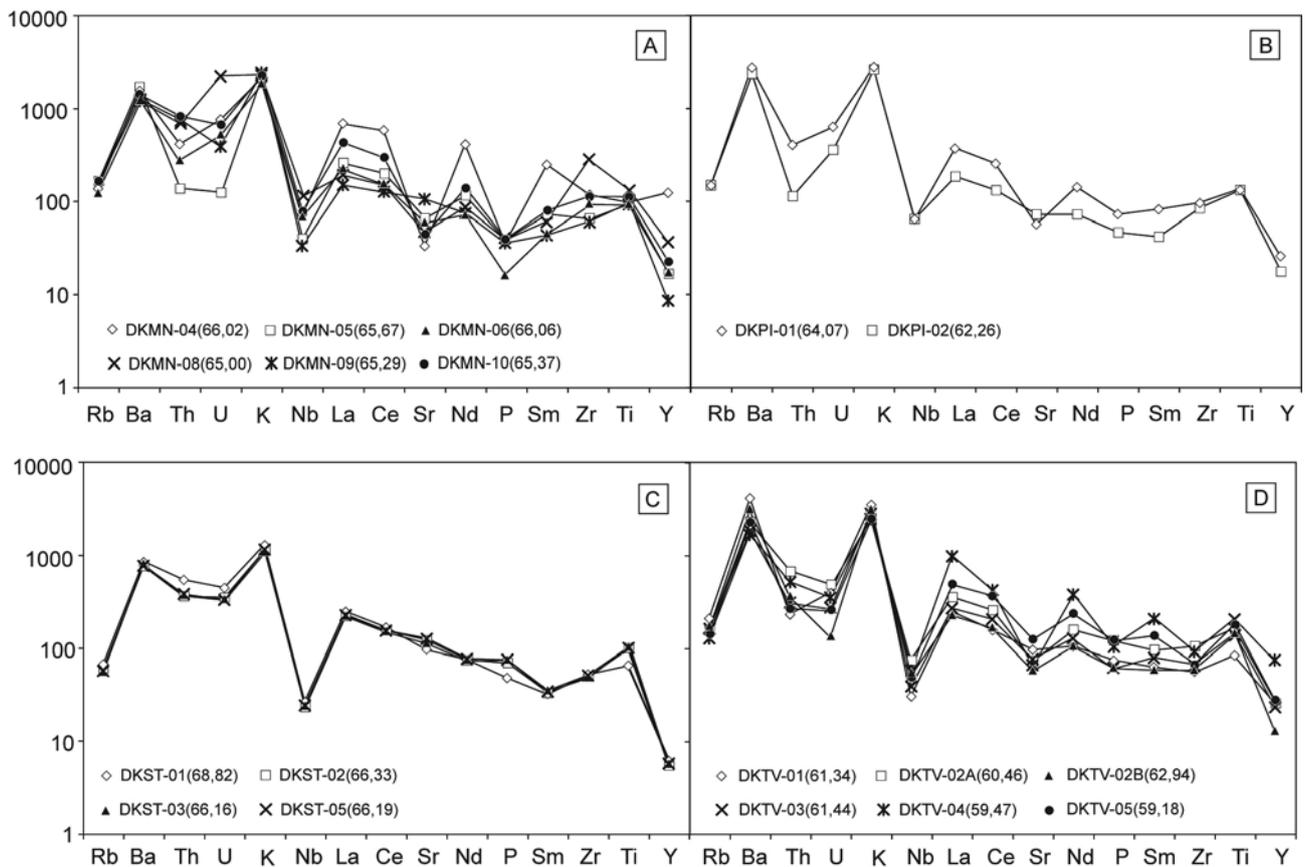


Figura 11. Espectros multielementos (*spidergrams*) para as amostras dos subexames. **A.** Manaíra. **B.** Princesa Isabel. **C.** Serra Talhada. **D.** Tavares. Os teores de sílica (%) são indicados para cada amostra, em parênteses. Os fatores de normalização adotados são aqueles do condrito de Sun e McDonough (1989).

1. enriquecimento pronunciado nos elementos fortemente incompatíveis (Rb, Ba, Th, U e K), mas com teores significativamente mais elevados em Ba e K em comparação a Rb, Th e U, induzindo à falsas anomalias negativas nestes últimos elementos. As variações discretas de Rb, Ba e K não são correlacionadas diretamente com aumento de sílica. Para Rb e K as amostras mais evoluídas dos subenxames Manáira e Tavares têm, de fato, valores mais elevados nestes elementos, muito embora a correlação não seja linear. As concentrações das amostras do subenxame Serra Talhada são invariantes, enquanto as duas amostras de Princesa Isabel não revelam qualquer tendência bem definida;

2. o grau de enriquecimento em relação ao condrito (Sun e McDonough, 1989) diminui progressivamente para direita do diagrama, com flutuações observadas especialmente nos valores normalizados de Th, U, Nb, Sr, P (e Zr);

3. é notória, nos espectros individuais de todas as amostras, a presença de forte anomalia negativa de Nb, sem qualquer correlação com o grau de diferenciação (ver teores de SiO₂ para cada amostra, na legenda da Figura 11);

4. anomalias negativas em Sr (e mais restritamente, em P) são observadas nas amostras dos subenxames Manáira (exceção de DKMN-09) e Tavares, e em apenas uma das amostras do subenxame Princesa Isabel (DKPI-01).

Com respeito aos elementos terras-raras, as razões (La/Yb)_N são amplamente variáveis. Parte das amostras do subenxame Manáira, aquelas de Tavares e uma das amostras de Princesa Isabel (DKPI-01) têm razões (La/Yb)_N similares, com valores médios entre 17 - 23. Três amostras do subenxame Manáira (DKMN-04, -06, -08) e a amostra DKPI-02 apresentam valores mais baixos [(La/Yb)_N entre 4 e 11]. As amostras do subenxame Serra Talhada são significativamente mais fracionadas, apresentando os valores mais elevados para (La/Yb)_N, entre aproximadamente 46 - 56.

Além do padrão comum de fracionamento, os espectros ETR dos diques mostram grau moderado de empobrecimento em Eu, indicado pelos valores calculados da razão Eu/Eu*. Esses valores concentram-se preferencialmente em torno de 0,67 - 0,84 para os diques dos subenxames Manáira, Princesa

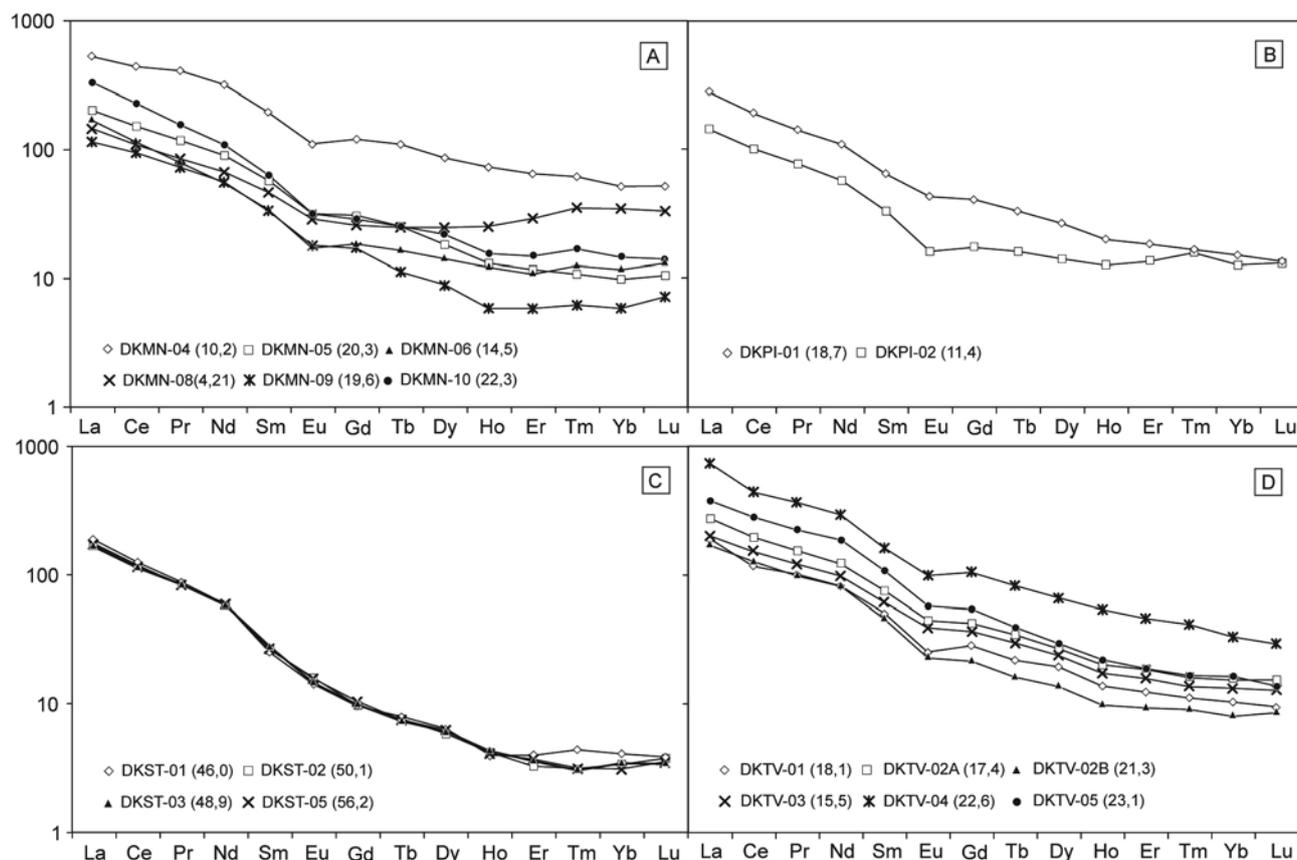


Figura 12. Espectros das concentrações de elementos terras-raras para os subenxames. **A.** Manáira. **B.** Princesa Isabel. **C.** Serra Talhada. **D.** Tavares. Os valores das razões (La/Yb)_N são indicados em parênteses. Os fatores de normalização adotados são aqueles do condrito de Boynton (1984).

Isabel e Tavares, e valores mais próximos a 1 para os diques do subenxame Serra Talhada (0,88 - 0,99). A variação no grau da anomalia de Eu é em parte correlacionada ao grau de diferenciação: quatro das amostras de Manaíra definem uma tendência a valores mais elevados de Eu/Eu^* com aumento de sílica, enquanto comportamento inverso é observado para o conjunto de amostras do subenxame Tavares.

Geoquímica Isotópica

Composição isotópica de Sr

Como um conjunto, as razões isotópicas $^{87}Sr/^{86}Sr$ iniciais dos diques dos quatro subenxames são heterogêneas, entre 0,70718 - 0,70875, incluindo ainda composições menos e mais radiogênicas que 0,700 e 0,709, respectivamente. Essas variações são superiores aos erros inerentes à análise propriamente dita, menores que 0,0001. Quando avaliados isoladamente, os subenxames guardam alguma semelhança. Por exemplo, nota-se que as razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ (bem como Rb/Sr) das amostras dos subenxames Manaíra e Tavares são mais heterogêneas comparativamente àquelas dos subenxames Princesa Isabel e Serra Talhada. Em geral, essas razões não apresentam correlação positiva entre si (Figura 13A); em Tavares a correlação é sugerida se excluídas as amostras DKTV-01 (não incluída no gráfico) e -03, respectivamente a menos e mais radiogênica do conjunto. Nesse caso, as razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ tornam-se progressivamente menos radiogênicas com decréscimo da razão Rb/Sr e o teor de SiO_2 , em um padrão que parece ser incompatível com contaminação crustal. Para as amostras do subenxame Manaíra o com-

portamento é inverso, com aumento muito discreto da razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ associado a aumento significativo das razões Rb/Sr e também teores de sílica. Todavia, para considerar essa tendência, três amostras do conjunto devem ser descartadas.

Uma amostra de cada um dos subenxames Manaíra (DKMN-04) e Tavares (DKTV-01) têm assinaturas isotópica $^{87}Sr/^{86}Sr$ inferiores a 0,700. Apesar da semelhança, essas composições menos radiogênicas parecem estar relacionadas a fatores distintos em cada caso. Para a amostra DKMN-04, a razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ atual é estreitamente similar às demais do grupo e mesmo dos subenxames Princesa Isabel e Tavares; todavia, a concentração mais baixa de Sr influencia fortemente no valor mais alto da razão Rb/Sr, calculada em 1,3 (ver Tabela 4). Já para a amostra DKTV-01 a razão Rb/Sr se compara àquelas das demais amostras do conjunto, sendo o valor mais baixo da razão $^{87}Sr/^{86}Sr$ provavelmente reflexo de heterogeneidades na fonte.

Composição isotópica de Nd

À semelhança das composições isotópicas de Sr, as razões $^{143}Nd/^{144}Nd$ (ou $\epsilon_{Nd(600)}$) iniciais são igualmente heterogêneas. Os subenxames Manaíra, Tavares e as duas amostras de Princesa Isabel apresentam valores de $\epsilon_{Nd(600)}$ entre -13,8 e -16, enquanto que as amostras do subenxame Serra Talhada são discretamente mais radiogênicas, com pequenas variações em torno de -17,5. Apesar da significativa variação composicional, não é observada uma tendência de correlação entre as razões isotópicas de Sr e Nd (Figura 13B). Os dados do subenxame Manaíra, no entanto, parecem definir três grupos, representados respectivamente: **1.** pela amostra

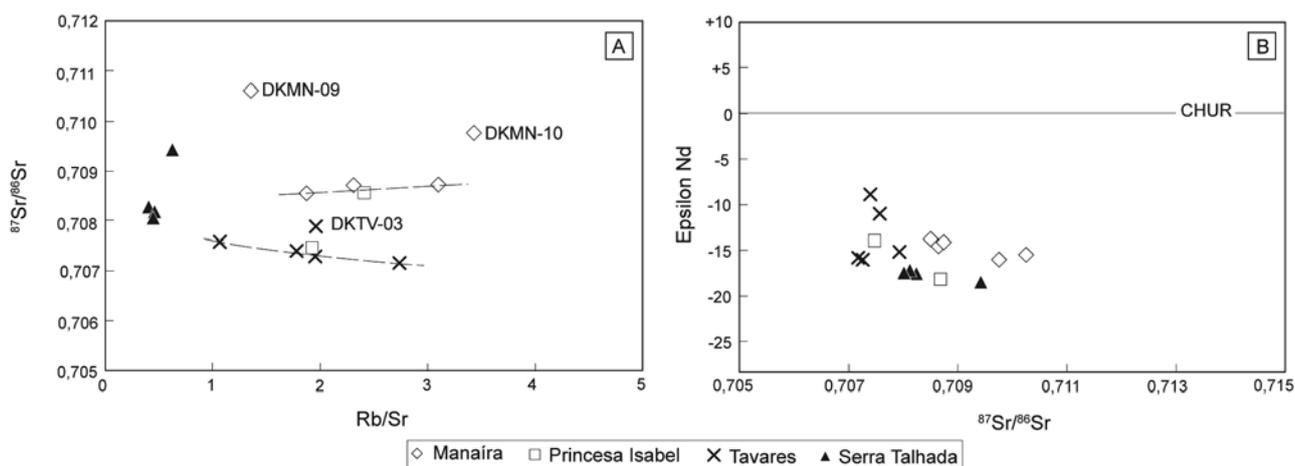


Figura 13. Diagramas de correlação entre: **A.** razões Rb/Sr e $^{87}Sr/^{86}Sr$; **B.** razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ e ϵ_{Nd} . Os valores das razões isotópicas de Sr e Nd foram recalculados para a idade de 600 Ma, sendo que as amostras DKMN-04 e DKTV-01 não estão incluídas tendo em vista suas razões menos radiogênicas em Sr (< 0,700). As linhas segmentadas em **A** representam possíveis tendências de correlação entre os dados dos subenxames de Manaíra e Tavares.

DKMN-04, menos radiogênica (0,695 e -12) (não ilustrada na referida figura), **2**, pelas amostras DKMN-05, -06 e -08, com valores ϵ_{Nd} e $^{87}Sr/^{86}Sr$ intermediários (c. 0,7085 e -14), e finalmente **3**, pelas amostras DKMN-09 e -10, com valores mais radiogênicos ($> 0,7097$ e < -15).

As amostras com $\epsilon_{Nd(600)}$ mais negativos dos subexames Princesa Isabel (DKPI-01) e Serra Talhada (DKST-01) são as mesmas que apresentam as razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ mais elevadas de cada grupo. Coincidentemente, correspondem às amostras mais evoluídas (maior %SiO₂ e Q) e com maiores concentrações em elementos incompatíveis (Rb, Ba, Th, U, ETR leves). Sendo assim, a possibilidade de contaminação com material (a encaixante regional?) mais radiogênico não deve ser totalmente excluída.

Com respeito às razões $^{147}Sm/^{144}Nd$, a maioria das amostras concentra-se entre 0,10 e 0,12, à exceção daquelas do subexame Serra Talhada cujos valores são bastante homogêneos em torno de 0,085. A combinação das razões $^{143}Nd/^{144}Nd$ e $^{147}Sm/^{144}Nd$ forneceram valores de idades-modelo Sm-Nd (T_{DM}) paleoproterozoicas, entre 1,8 e 2,2 Ga. Idades T_{DM} maiores que 2,4 foram calculadas para três amostras do conjunto (DKMN-08, DKPI-01, DKTV-02A) como resultado do fracionamento mais significativo entre Sm e Nd, demonstrado pelos valores mais elevados das razões $^{147}Sm/^{144}Nd$ nessas amostras.

Composição isotópica de Pb

Os valores das razões $^{206}Pb/^{204}Pb$, $^{207}Pb/^{204}Pb$ e $^{208}Pb/^{204}Pb$ iniciais de todo o conjunto de amostras refletem composições menos radiogênicas quando comparadas à média dos

valores crustais, segundo Stacey e Kramers (1975) (Figura 14A). Significativa homogeneidade é observada especificamente entre as razões $^{206}Pb/^{204}Pb$, as quais se concentram em um intervalo estreito de valores, entre 16,01 e 16,56. Apenas duas amostras, ambas do subexame Manaíra, apresentam valores discretamente mais elevados, em torno de 17. As razões torogênicas $^{208}Pb/^{204}Pb$ são igualmente homogêneas. Contrariamente, as razões $^{207}Pb/^{204}Pb$ iniciais distribuem-se em uma faixa mais ampla de valores, entre 15,34 e 15,5, sugerindo contaminação (em proporções variáveis) com material antigo.

A Figura 14 ilustra também a representação gráfica dos dados isotópicos Pb/Pb no modelo plumbotectônica de Doe e Zartmann (1979). A distribuição das amostras em ambos os gráficos correlacionando as razões $^{207}Pb/^{204}Pb$ e $^{208}Pb/^{204}Pb$ com $^{206}Pb/^{204}Pb$ mostram clara similaridade com os valores definidos para um reservatório misto - o orógeno, cuja assinatura isotópica reflete a contribuição (em proporções não exatamente definidas) de manto e crostas, superior e inferior, na gênese desses magmas.

NATUREZA DA FONTE E IMPLICAÇÕES GEODINÂMICAS

Reconhecer magmas gerados a partir de fusão de manto metassomatizado implica em observar nestes características geoquímicas e isotópicas indicativas de enriquecimento anômalo. Esse padrão geoquímico é largamente reconhecido na composição dos diques da região de Manaíra-Princesa Isabel. O padrão geral dos espectros multielementos de todas as amostras, dos quatro subexames, são

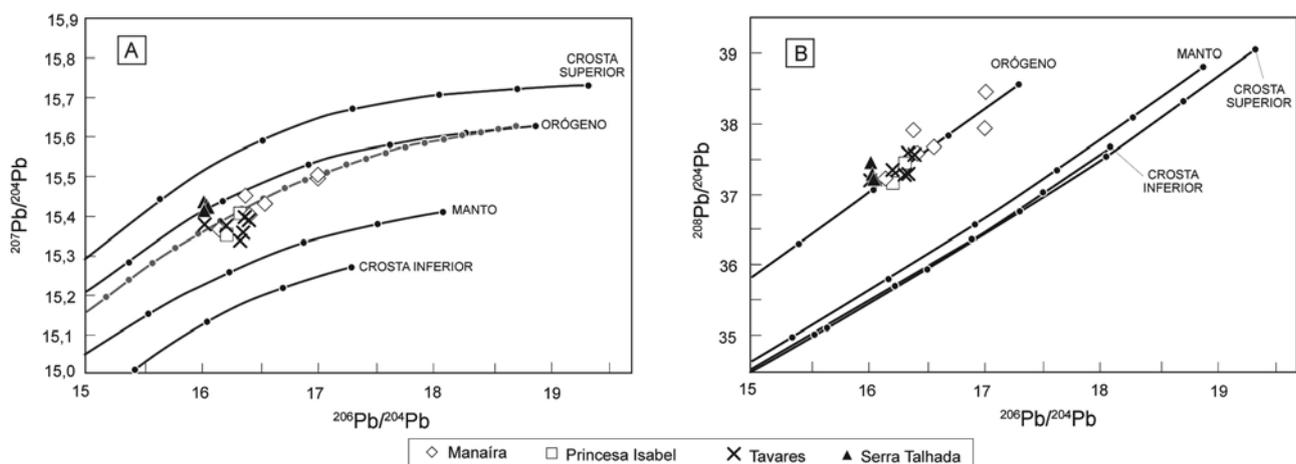


Figura 14. Diagramas de correlação entre: **A.** razões $^{206}Pb/^{204}Pb$ e $^{207}Pb/^{204}Pb$; **B.** razões $^{206}Pb/^{204}Pb$ e $^{208}Pb/^{204}Pb$, assumindo o modelo Plumbotectônica. Em **A**, a curva cinza representa a evolução global de Pb segundo Stacey e Kramers (1975), subdividida em intervalos de 100 Ma (de 0 a 2,0 Ga). Os intervalos demarcados nas curvas orógeno, manto e crostas são de 400 Ma.

semelhantes entre si, mostrando teores na ordem de 100 a 1000 vezes as proporções condriticas, sugerindo uma fonte enriquecida e comum. Além do enriquecimento em Rb, Ba, Th, U e K, e ETR leves, a anomalia negativa em Nb é uma feição marcante.

Padrões fortemente fracionados em ETR leves com relação aos pesados são compatíveis com fusão (em pequenas proporções) de uma fonte tipo granada-peridotito, onde a presença de granada como fase residual na fonte implicaria na retenção de ETR pesados, explicando o empobrecimento relativo nestes elementos. A participação do manto como fonte é também indicada por dados $\delta^{18}\text{O}$ c. +8‰ a +10‰ (Sial e Ferreira, 1990; Ferreira et al., 1998) obtidos em amostras desse magmatismo.

O envolvimento de um manto tipo granada-peridotito anormalmente enriquecido vem sendo sugerido como fonte comum para o magmatismo máfico shoshonítico (Jardim de Sá, 1994; Ferreira et al., 1998; Hollanda et al., 2003) e alcalino-peralcalino ultrapotássico (Sial e Ferreira, 1988; Ferreira et al., 1994, 1998; Guimarães et al., 2005) Neoproterozoico na Província Borborema oriental. As características geoquímicas dos diques aqui estudados permitem também incluí-los como representante do magmatismo peralcalino ultrapotássico dessa província, estendendo assim a hipótese de origem a partir de um manto antigo anormalmente enriquecido por um componente de subducção, assim explicando as anomalias negativas de Nb. No presente caso, a hipótese é endossada pelo enriquecimento em elementos incompatíveis, aliado às altas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais ($> 0,707$) e valores fortemente negativos de $\epsilon_{\text{Nd}(600)}$ (em geral < -12), cujas variações não estão relacionadas a parâmetros que indiquem contaminação crustal pervasiva durante ascensão/alojamento. Além do que, o rápido transporte e resfriamento inerente a esses diques (relativamente pouco espessos com bordas de resfriamento bem desenvolvidas) são incompatíveis com tempo de residência crustal, em estado magmático, que poderia condicionar modificações químicas significativas; todavia, algum de contaminação crustal deve ter ocorrido tendo em vista a presença de zircões herdados do embasamento regional mais antigo.

A idade do evento de enriquecimento pode ser estimada com base no fracionamento relativo de Sm em relação a Nd, ou seja, as razões Sm/Nd na fonte tendem a decrescer durante o processo. Por exemplo, altas razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ($= \epsilon_{\text{Nd}}$ positivos) aliadas a razões Sm/Nd condriticas indicariam que o intervalo de tempo decorrido entre enriquecimento e fusão parcial da fonte foi relativamente curto; ao contrário, razões Sm/Nd baixas ($< 0,10$, por exemplo) associadas a razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ baixas indicariam um evento metassomático antigo (segundo Cohen et al., 1984; Roden e Murthy, 1985). De fato, os valores de $\epsilon_{\text{Nd}(600)}$ muito negati-

vos combinados a razões $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ baixas determinados nas amostras estudadas forneceram idades TDM paleoproterozoicas, entre 1,8 - 2,2 Ga. Isso é fortemente sugestivo de que o evento metassomático capaz de imprimir uma assinatura enriquecida ao manto litosférico regional pode estar relacionado a processos de acreção crustal (em um cenário de margem convergente) Paleoproterozoicos, como já discutido amplamente na literatura. Esse manto enriquecido teria permanecido preservado até o Neoproterozoico quando então teria sido parcialmente fundido para gerar os magmas parentais dos inúmeros corpos granitoides e sieníticos que intrudem a Província Borborema.

Os dados de campo e várias evidências microtexturais indicam que o alojamento dos diques ocorreu em crosta relativamente rasa. Bordas resfriadas foram observadas nos diques intrusivos em metassedimentos de baixo grau a oeste da cidade de Manaíra e no subexame Tavares. Nesse último, são comuns texturas subvulcânicas caracterizadas por fenocristais euédricos a subeuédricos de K-feldspato imersos em matriz homogênea, muito fina. No subexame Manaíra são comuns a presença de apófises e corpos satélites ao dique principal cortando em alto ângulo a foliação metamórfica regional. É importante salientar que os diques não estão deformados pela tectônica regional e nem estão afetados pelo metamorfismo de baixo grau.

O exame de diques estudado corta todas as estruturas do embasamento regional entre a Zona de Cisalhamento Juru-Belém e o sienito de Triunfo, o qual é representado por rochas eoneoproterozoicas do domínio Alto Pajeú, Complexo Riacho Gravatá e os granitoides brasileiros de Tavares e Princesa Isabel (cf. Figura 2). Assim, o magmatismo alcalino fissural foi uma feição tardia neste setor da Zona Transversal. Não existem dados geocronológicos disponíveis para o granito de Princesa Isabel, porém idades U/Pb em zircão no batólito de Tavares mostraram idades de cristalização em torno de 630 Ma (Brito Neves et al., 2003). Essa idade seria, portanto, a idade máxima para o alojamento do enxame de diques de Manaíra-Princesa Isabel. A idade U/Pb (SHRIMP) de c. 600 Ma é consistente com as observações de campo, mostrando que o enxame resfriou rapidamente na crosta rasa, entre 600 - 605 Ma. Esses resultados indicam que o bloco crustal compreendido entre a Zona de Cisalhamento Juru-Belém e o sienito de Triunfo possui idades de resfriamento bastante precoces quando comparadas a outros setores da Zona Transversal, em geral entre 540 e 490 Ma (Monié et al., 1997; Corsini et al., 1998).

Em grande parte da porção setentrional da Província Borborema, a norte do Lineamento Patos, o principal período de atividade tectono-magmática ocorreu a 585 - 575 Ma (Souza et al., 2006). Ou seja, parte substancial da província estaria sendo invadida por granitos e deforman-

do em alta temperatura na crosta intermediária. Um número restrito de plútons graníticos com idades similares também são encontrados na Zona Transversal - Itaporanga (585 Ma; Brito Neves et al., 2003), Campina Grande, Serra Redonda e Serra Branca (580 - 575 Ma; Guimarães et al., 2004; Archanjo et al., 2008). Considerando a idade de 600 Ma é possível interpretar que parte da Zona Transversal estaria sendo exumada nesse período, estando preservada do forte evento tectono-magmático que afetou o domínio Seridó-Jaguaribe, a norte, em torno de 580 Ma.

CONCLUSÕES

1. Os diques dos subenxames Manaíra, Princesa Isabel e Tavares constituem predominantemente sienitos saturados em sílica, com afinidade peralcalina, potássica a ultrapotássica (K_2O entre c. 7 - 13%; $K_2O/Na_2O > 2$). Por sua vez, o subenxame Serra Talhada é representado por álcali-granitos, com afinidade (fracamente)metaluminosa.

2. A assembleia mineral é dominada por microclina e anfibólio ± clinopiroxênio sódicos, sendo principalmente reconhecidos Mg-riebeckita (e Fe-glaucófana) e egirina-augita. As variações composicionais nos anfibólios são especialmente ditadas pelas trocas catiônicas $Al \leftrightarrow Fe$, bem como pelas proporções de álcalis (Na+K) no sítio A da estrutura desse mineral. A coexistência em equilíbrio de diopsídio-augita e egirina-augita no subenxame Tavares é indicada por feições texturais e químicas ($Mg\# 0,6-0,7$). A presença em equilíbrio de piroxênios sódicos e cálcicos é descrita por Ferreira e colaboradores (1994) como uma feição comum no sienito de Triunfo, cuja petrogênese parece estar relacionada a processos de imiscibilidade de líquidos sieníticos e piroxeníticos. O reconhecimento de feições petrográficas e químicas nos diques estudados à semelhança daquelas no plúton de Triunfo confirma a filiação comum desses produtos magmáticos.

3. O forte enriquecimento em elementos incompatíveis aliado à razões $^{87}Sr/^{86}Sr$ iniciais muito radiogênicas e $\epsilon_{Nd(t=600)}$ fortemente negativos sugerem uma fonte comum. A anomalia negativa em Nb presente em todos os subenxames indica um componente de subducção envolvido na gênese desse magmatismo, provavelmente atuando como agente indutor do enriquecimento e fusão de um manto litosférico.

4. Idades modelo Sm-Nd entre 1,8 e 2,2 Ga (somados à razões $^{207}Pb/^{206}Pb$ variáveis) indicam que o enriquecimento pode ter sido antigo, provavelmente relacionado à geração de crosta (em ambiente de arco) paleoproterozoica.

5. Os valores das razões $^{206,207,208}Pb/^{204}Pb$ sugerem, *a priori*, a participação de um componente não radiogênico interagindo com o manto litosférico enriquecido.

6. No contexto geodinâmico da Zona Transversal, a idade U-Pb SHRIMP em zircão de c. 600 Ma obtida para

o magmatismo peralcalino fissural na região de Manaíra-Princesa Isabel define um cenário de relativa quiescência tectônica contrastando com intensa atividade tectonomagmática em c. 580 Ma.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro ao projeto 04/08614-9 "O Cambro-Ordoviciano na Província Borborema". Ao Dr. Ian McReath pelas sugestões ao manuscrito, bem como ao revisores, Dr. Affonso Brod e um anônimo, pelos valiosos comentários ao texto original.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17, p. 1-29, 1981.

ARCHANJO, C. J.; FETTER, A. Emplacement setting of the granite sheeted pluton of Esperança (Brasiliano orogen, northeastern Brazil). *Precambrian Research*, v. 135, p. 193-215, 2004.

ARCHANJO, C. J.; HOLLANDA, M. H. B. M.; RODRIGUES, S. W. O.; BRITO NEVES, B. B.; AMSTRONG, R. Fabrics of pre- and syntectonic granite plutons and chronology of shear zones in the Eastern Borborema Province, NE Brazil. *Journal of Structural Geology*, v. 30, p. 310-326, 2008.

BABINSKY, M.; VAN SCHUMS.; W. R., CHEMALE JR., F. Pb-Pb dating and Pb isotope geochemistry of Neoproterozoic carbonate rocks from the São Francisco Basin, Brazil: implications for the mobility of Pb isotopes during tectonism and metamorphism. *Chemical Geology*, v. 160, p. 177-199, 1999.

BAILEY, D. K. Mantle metasomatism: continuing chemical change within the Earth. *Nature*, v. 296, p. 525-530, 1972.

BITTAR, S. M. B. *Faixa Piancó-Alto Brígida: terrenos tectono-estratigráficos sob regimes metamórficos e deformacionais contrastantes*. 1998. 126 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BONIN, B. A-type granites and related rocks: evolution of a concept, problems and prospects. *Lithos*, v. 97, p. 1-29, 2007.

- BOYNTON, W. R. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: HENDERSON, P. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, p. 63-114, 1984.
- BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: SBG, 2000. p. 151-182.
- BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; VAN SCHMUS, W. R.; FERNANDES, T. M. G.; SOUZA, S. L. O Terreno Alto Moxotó no leste da Paraíba ("Maciço Caldas Brandão"). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 31, p. 185-194, 2001.
- BRITO NEVES, B. B.; PASSARELLI, C. R.; BASEL, M. A. S.; SANTOS, E. J. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da província Borborema. *Geologia USP: Série Científica*, v. 3, p. 25-38, 2003.
- BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; KOZUCH, M.; SANTOS, E. J.; PETRONILHO, L. A zona tectônica Teixeira-Terra Nova: ZTTN, fundamentos da geologia regional e isotópica. *Geologia USP: Série Científica*, v. 5, p. 57-80, 2005.
- COHEN, R. S.; ONIONS, R. K.; DAWSON, J. B. Isotope geochemistry of xenoliths from East Africa: implication for development of mantle reservoirs and their interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 68, p. 209-220, 1984.
- COMPSTON, W.; WILLIAMS, I. S.; KIRSHVINK, J. L.; ZANG, Z.; GUOGAN, M. A. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time scale. *Journal of Geological Society of London*, v. 149, p. 171-184, 1992.
- CORSINI, M.; LAMBERT-FIGUEIREDO, L.; CABY, R.; FERAUD, G.; RUFFETT, G.; VAUCHEZ, A. Thermal history of the Pan-African/Brasiliano Borborema Province of northeast Brazil deduced from $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ analysis. *Tectonophysics*, v. 285, p. 103-117, 1998.
- COX, K. G.; BELL, J. D.; PANKHURST, R. J. *The interpretation of igneous rocks*. George, Allen & Unwin: London, 1979. 449 p.
- DANTAS, E. L.; VANSCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO NEVES, B. B.; FETTER, A.; CORDANI, U. G.; NUTMANN, A.; WILLIAMS, I. S. The 3.4-3.5 Ga São José do Campestre Massif, NE Brazil: remnants of the oldest crust in South America. *Precambrian Research*, v. 130, p. 113-137, 2004.
- DAWSON, J. B. Contrasting types of upper-mantle metasomatism? In: KORNPROBST, J. *Kimberlites II: the mantle and crust-mantle relationships*. Amsterdam: Elsevier, 1984. p. 289-294
- DAWSON, J. B. The kimberlite clan: relationship with olivine and leucite lamproites, and inferences on upper mantle metasomatism. In: FITTON, J. G.; UPTON, B. G. (Eds.) *Alkaline igneous rocks*. Oxford; Boston: Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1987. p. 95-101. (Geological Society of America Special Publication, v. 30)
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Harlow: Longman, 1992. 695 p.
- DOE, B. R.; ZARTMAN, R. E. Plumbotectonics, The Phanerozoic. In: BARNES, H. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York: Wiley Interscience Publ., 1979. p. 22-70.
- DROOP, G. T. R. A general equation for estimating Fe^{3+} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, v. 51, p. 431-435, 1987.
- FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N. The peralkalic magmatism in the Precambrian Cachoeirinha-Salgueiro foldbelt, Northeast Brazil: geochemical aspects. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, p. 78-85, 1994.
- FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N.; WHITNEY, J. A. Large-scale silicate liquid immiscibility: a possible example from northeastern Brazil. *Lithos*, v. 33, p. 285-302, 1994.
- FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N.; JARDIM DE SÁ, E. F. Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, p. 439-455, 1998.
- FERREIRA, M. A. F.; FERREIRA, V. P.; SIAL, A. N.; PIMENTEL, M. M. Origin and intensive parameters in the crystallization of ultrapotassic syenites: the Serra do Man pluton, northeastern Brazil. *Gondwana Research*, v. 5, p. 275-285, 2002.
- FETTER, A. H.; SARAIVA DOS SANTOS, T. J.; VAN SCHMUS, W. R.; HACKSPACHER, P. C.; BRITO

- NEVES, B. B.; ARTHAUD, M. H.; NOGUEIRA, J. A.; WERNICK, E. Evidence for Neoproterozoic Continental Arc Magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the Assembly of West Gondwana. *Gondwana Research*, v. 6, p. 265-273, 2003.
- FITTON, J. G. The Cameroon Line, West África: a comparison between oceanic and alkaline volcanism. In: FITTON, J. G., UPTON, B. G. (Eds). *Alkaline Igneous rocks*. Oxford Boston: Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1987. p. 273-291. (Geological Society of America Special Publication, v. 30).
- FOLEY, S. F.; VENTURELLI, G.; GREEN, D. H.; TOSCANI, L. The ultrapotassic rocks: characteristics, classification, and constraints for petrogenetic models. *Earth Science Reviews*, v. 24, p. 81-134, 1987.
- GUIMARÃES, I. P.; DA SILVA FILHO, A. F.; ALMEIDA, C. N.; VAN SCHMUS, W. R.; ARAÚJO, J. M. M.; MELO, S. C.; MELO, E. B. Brasileiro (Pan-African) granitic magmatism in the Pajeú-Paraíba belt, Northeast Brazil: an isotopic and geochronological approach. *Precambrian Research*, v. 135, p. 23-53, 2004.
- GUIMARÃES, I. P.; DA SILVA FILHO, A. F.; MELO, S. C.; MACAMBIRA, M. B. Petrogenesis of A-Type Granitoids from the Alto Moxoto and alto Pajeu Terranes of the Borborema Province, NE Brazil: constraints from geochemistry and isotopic compositions. *Gondwana Research*, v. 8, p. 347-362, 2005.
- HOLLANDA, M. H. B. M.; PIMENTEL, M. M.; JARDIM DE SÁ, E. F. Paleoproterozoic subduction-related metasomatic signatures in the lithospheric mantle beneath NE Brazil: inferences from trace element and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of Neoproterozoic high-K igneous rocks. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 885-900, 2003.
- JARDIM DE SÁ, E. F. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. 1994. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília.
- KOZUCH, M. *Isotopic and trace elements geochemistry of Early Neoproterozoic gneissic and metavolcanic rocks in the Cariris Velhos Orogen of the Borborema Province, Brazil, and their bearing on tectonic setting*. 2003. Tese (Doutorado) - University of Kansas, EUA, 2003.
- LEAKE, B. E. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of The International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *European Journal of Mineralogy*, v. 9, p. 623-651, 1997.
- LIÉGEAIS, J. P.; BLACK, R. Alkaline magmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas. In: FITTON, J. G., UPTON, B. G. (Eds). *Alkaline Igneous rocks*. Oxford; Boston: Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1987. p. 381-401. (Geological Society of America Special Publication, v. 30).
- LUDWIG, K. R. *Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel® (revised version)*. California: Berkeley Geochronological Center, 2003. 70 p. (Special Publication, v.4).
- LUDWIG, K. R. *SQUID 1.00. A user manual*. California: Berkeley Geochronology Center, 2000. 17 p. (Special Publication, v. 2).
- MEDEIROS, V. C. *Evolução geodinâmica e condicionamento estrutural dos terrenos Piancó-Alto Brígida e Alto Pajeú, Domínio da Zona Transversal, NE Brazil*. 2004. Tese (Doutorado) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.
- MENZIES, M. Alkaline rocks and their inclusions: a window on the earth's interior. In: FITTON, J.G., UPTON, B.G. (Eds). *Alkaline Igneous rocks*. Oxford; Boston: Published for the Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1987. p. 15-27. (Geological Society of America Special Publication, v. 30).
- MENZIES, M.; ROGERS, N.; TINDLE, A.; HAWKESWORTH, C. Metasomatic and enrichment processes in lithospheric peridotites, an effect of asthenosphere-lithosphere interaction. In: MENZIES, M. A., HAWKESWORTH, C. J. (Eds). *Mantle Metasomatism*. London: Academic Press, 1987. p. 313-361. (Geology series).
- MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M. N. The Neoproterozoic Brasileiro orogeny in Northern Brazil: $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ and ptostructural data from Ceará. *Precambrian Research*, v. 81, p. 241-264, 1997.
- MORI, P. E.; REEVES, S.; CORREIA, C. T.; HAUKA, M. Development of a fused glass disc xrf facilitate and comparison with the pressed powder pellet technique al

- Instituto de Geociências, São Paulo University. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, p. 441-446, 1999.
- MORIMOTO, N.; FABRIES, J.; FERGUSON, A. K.; GINZBURG, I. V.; ROSS, M.; SEIFERT, F. A.; ZUSSMAN, J.; AOKI, K.; GOTTARDI, G. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine*, v. 52, p. 535-550, 1988.
- NEVES, S. P. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics*, v. 22, n. 4, p. 1031, 2003. DOI: 10.1029/2001TC001352, 2003.
- NIELSON, J. G.; NOLLER, J. S. Processes of mantle metassomatism; constraints from observations of composite peridotite xenoliths. Boulder: Geological Society of America, 1987. p. 61-76. (Special paper/ Geological Society of America, v. 215).
- RIEDER, M. Nomenclature of the micas. *Mineralogical Magazine*, v. 63, p. 267-279, 1999.
- RODEN, M. F.; MURTHY, V. R. Mantle metasomatism. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 13, p. 269-296, 1985.
- SANTOS, E. J. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrecionária na Província Borborema In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996. Salvador. *Anais...* Salvador: SBG, 1996, v. 6, p. 47-50.
- SIAL, A. N. Granite types of northeast Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, p. 54-72, 1986.
- SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P. Brasiliano age peralkaline plutonic rocks of the Central structural domain, NE Brazil. *Rediconti Societ Italiana di Mineralogia e Petrologia*, v. 43, p. 103-112, 1988.
- SIAL, A. N.; FERREIRA, V. P. Granitoids in northeastern Brazil: oxygen and sulfure isotope compositions and depth of emplacement. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 3, p. 103-112, 1990.
- SOUZA, Z. S.; MONTEL, J. M.; GIOIA, S. M. L. C.; HOLLANDA, M. H. B. M.; NASCIMENTO, M. A. L.; JARDIM DE SÁ, E. F.; AMARO, V. E.; PIMENTEL, M.; LAURDEAUX, J. M.; VESCHAMBRE, M. Electron microprobe dating monazite from high-T shear zones in the São José de Campestre massif, NE Brazil. *Gondwana Research*, v. 9, p. 441-455, 2006.
- STACEY, J. S.; KRAMMERS, J. D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planetary Science Letters*, v. 26, p. 207-21, 1975.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sciences Review*, v. 12, p. 1-33, 1976.
- SUN, S. S.; MCDONOUGH, W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A. D., NORRY, M. J. (Eds). *Magmatism in the ocean basins*. Oxford; Boston: Geological Society by Blackwell Scientific Publications, 1989. p. 313-345. (Geological Society of America Special Publication, v. 42).
- TATSUMI, Y.; EGGINS, S. *Subduction Zone Magmatism*. Cambridge: Blackwell Science, 1995. 211 p.
- TURNER, G. Thermal histories of meteorites by the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ method. In: MILLMAN, P.M. *Meteorite Research*. Reidel: Dordrecht, 1969. p. 407-419.
- VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSKI, M. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 8, p. 267-288, 1995.
- WILLIAMS, I. S.; CLAESSION, S. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from Seve Nappes, Scandinavian Caledonides. II. Ion microprobe zircon U-Th-Pb. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, v. 97, p. 205-217, 1987.
- WILSHIRE, H. G. Mantle metasomatism: the REE story. *Geology*, v. 12, p. 395-398, 1987.

APÊNDICES

A. Análise U-Pb SHRIMP em zircão

Um concentrado de minerais pesados (dominadamente zircão e apatita) foi extraído da amostra e purificado em lupa binocular para separação de aproximadamente 100 zircões. Esses foram dispostos sobre disco de resina epoxy (*mount*), com diâmetro em torno 2,5 cm, juntamente com outras amostras e os padrões de calibração de concentração de U e Th (SL13) e razões isotópicas/idade ($TEM^{206Pb^*/238U} = 416,75 \pm 0,24$ Ma).

Microscopia de luz refletida e transmitida, bem como imageamento por catodoluminescência foram utilizadas para investigar as estruturas internas dos cristais antes das análises propriamente ditas. Esta etapa permitiu definir sítios mais propícios (livres de inclusões e imperfeições estruturais), garantindo maior precisão e qualidade à análise.

A análise U/Pb SHRIMP consiste na medição das abundâncias dos isótopos de urânio, tório e chumbo, por meio da incidência de um feixe de íons primários (diâmetro c. 30 μ m) sobre o grão, permitindo a análise pontual em uma determinada região do grão. Uma quantidade do material (íons metais simples e espécies moleculares) é ionizada e introduzida no espectrômetro para análise. No espectrômetro, o feixe de íons secundários (amostra) passa por um analisador eletrostático que consiste de duas placas de alumínio as quais é aplicada uma diferença de energia potencial constante que irá separar os íons que, a partir daí, passarão por um setor magnético onde eles são desviados de acordo com suas massas e, então, medidas.

Os dados medidos no SHRIMP foram tratados no software estatístico SQUID 1.00 (Ludwig, 2000), de acordo com os procedimentos descritos em Williams e Claesson (1987) e Compston et al. (1992). As representações gráficas dos dados foram geradas no programa Isoplot 3.00/Excel (Ludwig, 2003).

B. Química mineral (piroxênio, anfibólio, mica, K-feldspato)

Os dados de química mineral foram obtidos por análise pontual em microsonda eletrônica JEOL JXA-8600S, calibrada a partir de padrões reconhecidos internacionalmente. As condições analíticas incluíram: (1) voltagem de aceleração de 15 kV, (2) corrente 20,1 μ A para o feixe de elétrons, (3) diâmetro de 5 mm para o feixe de elétrons, (4) tempo médio de contagem de 15 segundos e (5) correções estatísticas PROZA. As tabelas reunindo todas as análises na forma de proporção de óxidos, cátions e a fórmula estrutural calculada com base em 6 átomos de oxigênios para piroxênio e 23 átomos para anfibólio constam no Anexo 1. A fórmula estrutural para piroxênios foi calculada seguindo as recomendações de Morimoto et al. (1988) e tendo em conta a fórmula química geral: $M_2M_1T_2O_6$, onde M2 refere-se aos cátions em coordenação octaédrica, normalmente distorcida; M1 aos cátions em coordenação octaédrica regular, e T aos cátions em coordenação tetraédrica. A proporção Fe^{2+}/Fe^{3+} foi calculada a partir da fórmula de Droop (1987), e o ajuste dessa razão foi obtido fixando-se o cálculo catiônico na base de 6 oxigênios e 4 cátions. A fórmula estrutural para anfibólios foi calculada seguindo as recomendações de Leake (1997) e obedecendo a fórmula geral $AB_2^VI C_5^{IV} T_8 O_{22} (OH)_2$, sendo: A=1 sítio por fórmula unitária; B=2 sítios M4 por fórmula unitária; C=5 sítios compostos de 2 M1, 2 M2 e 1 M3 por fórmula unitária; T=8 sítios, em dois grupos de 4; OH=2 sítios por fórmula unitária. O cálculo catiônico foi feito na base de 23 oxigênios assumindo que tenham 2 (OH, Cl, F), tendo em conta a incerteza na quantidade de H_2O na estrutura mineral. A classificação foi feita em diagramas específicos, com limites dos campos estabelecidos para cada um destes.

As fórmulas estruturais das biotitas foram calculadas na base anidra de 22 cargas positivas (o equivalente a 11 oxigênios) seguindo as recomendações de Rieder (1999). A fórmula estrutural geral das micas é expressa como: $IM_{2-3}\square_{1-0}T_4A_2$, onde I é ocupado por K, Na ou Ca, incluindo também Ba, Rb, Cs e NH_4 ; M é ocupado por Li, Fe (di- ou trivalente), Mg, Al ou Ti, podendo também conter Mn (di- ou trivalente), Zn, Cr e V; \square é uma vacância; T é preenchido por Si, Al ou Fe (trivalente), incluindo também Be ou B; A é ocupado por OH ou F, adicionalmente Cl, O (oximicas) e S.

As fórmulas dos feldspatos foram calculadas na base de 32 átomos de oxigênio, sendo classificados no sistema ternário Ab-Na-Or conforme as recomendações de Deer et al. (1992). O cálculo foi executado através dos seguintes componentes moleculares: Albita (Ab): $Na_4[Al_4Si_{12}O_{32}]$; Anortita (Na): $Ca_4[Al_8Si_8O_{32}]$ e Ortoclásio (Or): $K_4[Al_4Si_{12}O_{32}]$.

C. Análises de elementos maiores por Fluorescência de Raio-X

A preparação das amostras envolveu a fusão de 1 (um) grama de material pulverizado (< 300 mesh) com 5 (cinco) gramas de uma mistura de material fundente de metaborato de lítio: tetraborato de lítio na proporção 4:1, para formar uma pastilha de vidro. As condições analíticas incluíram (1) voltagem de aceleração entre 22 kV (para Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si) e 40 kV (para Mn, Ti), (2) intensidade do feixe de raio-X de 50 mA, (3) tempo médio de contagem entre 30 segundos (para Al, Ca, Fe, K, Si) e 60 segundos (para Mg, Na, P), e (4) correções de matriz Alpha. Maiores detalhes sobre o procedimento analítico e condições instrumentais estão descritos em Mori et al. (1999). Para tratamento dos dados e elaboração de diagramas de variação química e discriminantes geoquímicos, foram utilizados os *softwares* MINPET e Excel.

D. Análises isotópicas de Sr, Nd e Pb

O procedimento para extração de Sr e elementos terras-raras incluiu inicialmente a pesagem de cerca de 100 mg de material pulverizado (< 300 mesh) e adição de *spike* $^{149}\text{Sm}/^{150}\text{Nd}$, em proporção adequada à concentração desses elementos no material (rocha). A dissolução ácida, em savillex®, foi feita com 4 ml de $\text{HF}:\text{HNO}_3$ na proporção 3:1, em chapa aquecida a $\sim 60^\circ\text{C}$, por cerca de 5 dias. Após evaporação, foram adicionados 4-5 ml de 6N HCl à amostra, mantendo em chapa aquecida por 12 horas. O resíduo-amostra foi tomado em 1 ml de 2,62N HCl para separação de Sr e ETR em colunas de troca iônica empacotadas com resina BioRad-AG1X 200-400 mesh, na forma de cloreto (Cl^-). A alíquota contendo elementos terras-raras é evaporada e tomada em 0,2 ml de 0,26N HCl para separação de Sm e Nd por cromatografia de fase reversa, em colunas empacotadas com resina LN-Spec (pó de teflon impregnado com ácido fosfórico di-2-etil).

Para Pb, o procedimento analítico é semelhante àquele descrito acima para Sr e terras-raras. Todavia, após o ataque ácido com HCl, o resíduo-amostra foi tomado em 2 ml de HBr 0,6N para posterior concentração/eluição de Pb em colunas cromatográficas de troca iônica (BioRad-AG1X 200-400 mesh). A separação química de Pb da solução-amostra seguiu o procedimento descrito em Babinski et al. (1999).

As medidas isotópicas foram realizadas por espectrometria de massa de ionização termal (TIMS), em espectrômetros de massa modelo VG-254 (para as composições isotópicas Sr, Sm e Pb) e Finnigan MAT 262 (composições isotópicas de Nd). Os resultados comentados e graficamente representados referem-se todos a razões isotópicas iniciais, ou seja, calculadas para idade de 600 Ma. As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ iniciais foram calculadas a partir da determinação das razões pai-filho $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ que, por sua vez, foram estimadas com base nas concentrações de Rb e Sr obtidas por ICP-MS. As razões $^{206,207,208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ iniciais foram calculadas com base nos valores das razões $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ e $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$, as quais são estreitamente dependentes das concentrações de U e Th em cada amostra. Por fim, as razões $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ iniciais, ou $\epsilon_{\text{Nd}(t=600)}$, foram determinadas a partir das razões $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ e idade de formação.