

Petrologia das Rochas Vulcânicas da Península Fildes, Ilha Rei George, Antártica

ADRIANE MACHADO¹, FARID CHEMALE JUNIOR², EVANDRO FERNANDES DE LIMA³
& ANA MARIA GRACIANO FIGUEIREDO¹

¹ Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

² Instituto de Geociências, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Comissão Nacional de Energia Nuclear,
Divisão de Radioquímica, Universidade de São Paulo-USP, Caixa Postal 11049, 01000,
São Paulo, SP, Brasil.

(Recebido em 07/97. Aceito para publicação em 06/98)

Abstract - The Paleocene-Eocene volcanic activity in the Fildes Peninsula is marked by basaltic to basalt-andesitic lavas and dykes with subordinate amounts of dacites and rhyolites. Studies of mineral chemistry point to calcic plagioclase (An₇₂₋₉₅) and augitic pyroxene phenocrysts and seldom grains of pigeonite and bronzite. Rock chemistry of ten samples indicates a calc-alkaline affinity based on enrichment in LILE and LREE, moderate contents of Zr, negative anomalies of Nb and Ti in multicationic diagrams, the high Al₂O₃ contents and also because CaO ≥ FeO^T. High contents of FeO^T and limited enrichment of SiO₂ are caused by fractionation of mafic silicates which probably occurred without cogenetic Ti-magnetite crystallization. The low content of Ni, Cr, Co and MgO in the basic rocks also support this hypothesis. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr initial ratios from 0.7033 to 0.7037 and εNd positive values (t=55 Ma) of 6.52 and 6.72 suggest a mantle source with few or without assimilation of continental crust. This magmatic activity is thus related to the Mesozoic and Cenozoic subduction in the Antarctic region which gave rise to the island arc of the South Shetland Islands.

Key words: volcanic rocks, Fildes Peninsula, Antarctica

INTRODUÇÃO

Estudos geológicos do continente Antártico têm sido intensificados nos últimos anos, embora as dificuldades climáticas nesta região limitem as atividades de campo. Diversas expedições realizadas na Península Fildes, localizada no sudoeste da Ilha Rei George, pertencente ao Arquipélago Shetland do Sul, Antártica (Fig.1), permitiram caracterizar geologicamente esta região como um terreno vulcânico terciário, com o predomínio de rochas básicas. Trabalhos anteriores, fundamentados em dados litoquímicos, apresentaram interpretações distintas para origem, afinidade geoquímica e ambiente geotectônico deste vulcanismo.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar e discutir resultados de química mineral e de rocha, além de dados isotópicos Rb/Sr e Sm/Nd, para a construção de hipóteses sobre a fonte do vulcanismo, ambiente geotectônico, evolução e afinidade geoquímica. Adicionalmente discute-se as limitações do uso de diagramas como FMA e FeO^T/MgO para a distinção entre rochas toleíticas e cálcico-alcálicas, bem como apresenta-se uma hipótese para origem do padrão aparentemente toleítico das rochas vulcânicas da Península Fildes.

MÉTODOS ANALÍTICOS

As amostras com argilo-minerais identificados por métodos óticos convencionais foram submetidas ao método difratométrico qualitativo do pó (câmara de Debye Sherrer). Este método foi escolhido com o objetivo de detectar o tipo de argila que compõem as alterações encontradas na matriz e em minerais de algumas amostras. O difratômetro utilizado foi o da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), marca Phillips Noreico com tubo de cobre, tensão de 35 kV, corrente baixa de 20 mA e filtro de níquel.

A química mineral de plagioclásio, piroxênio, olivina e minerais opacos (11 amostras com 295 pontos analisados) foi realizada no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), utilizando-se uma microsonda eletrônica do tipo CAMECA-SX50 com quatro espectrômetros WDS verticais e um EDS. Os padrões químicos utilizados para a calibragem foram: Si - Anor; Ti - TiO₂; Al - Anor; Fe - MnHO; Mg - MnHO; Mn - MnHO; Ca - Anor; Na - Jade; K - Asbe; Ni - NiO; Cr - Cr₂O. A tensão de aceleração, a corrente e os tempos de contagem de pontos são de 15 Kv, 10 nA e 30 s, respectivamente.

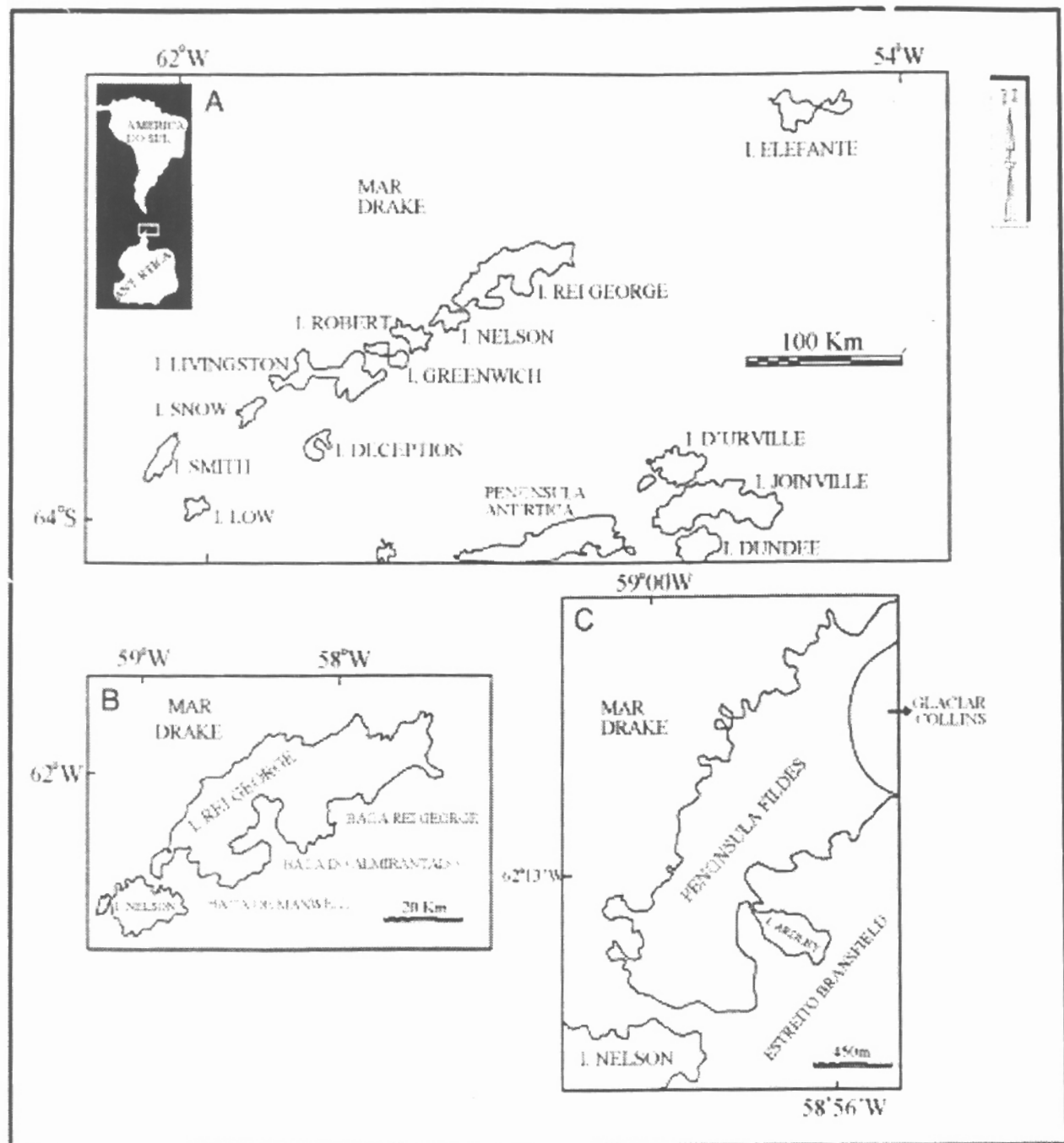


Figura 1 - Mapa de localização da Península Fildes.

As análises químicas de rocha total foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS (elementos maiores, V, Sr, Zr, Nb, Ba das amostras AF-12B, AF-16A e AF-16B), no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo-USP por ativação neutrônica, segundo a metodologia de Figueiredo & Marques (1989) (Sc, Co, Rb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th, U das amostras AF-12B, AF-16A, AF-16B) e no Activation Laboratories LTD-ACTLABS (Canadá), utilizando-se a técnica de espectrometria de plasma de argônio-ICP (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As,

Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sn, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Ti, Pb, Th, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu das amostras AF-2A, AF-2B, AF-5, AF-12A, AF-14, AF-20 e AF-21).

Os dados analíticos de Rb/Sr e Sm/Nd foram obtidos em rocha total no Laboratório de Geoquímica Isotópica da Universidade de Kansas (EUA). Rb/Sr e Sm/Nd foram separados com uso de colunas de troca iônica e as composições isotópicas foram medidas com um espectrômetro de massa VG-Sector de 5 coletores. Os valores de ϵ_{Nd} e as razões iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ foram calculados com base nas idades de cristalização para as rochas básicas (55 Ma.).

A Península Fildes é constituída por uma sucessão de rochas vulcânicas com intercalações de vulcanoclásticas de granulometria grossa a fina, que compõem o Grupo Península Fildes (Hawkes, 1961) e que formaram-se durante a atividade vulcânica terciária, associada a um processo de subducção de placas sob a Península Antártica. As rochas vulcânicas são representadas predominantemente por derrames de basaltos e andesitos basálticos, raramente andesitos, dacitos e riolitos. O grupo de rochas vulcanoclásticas constitui-se de brechas vulcânicas, aglomerados, conglomerados vulcânicos, tufo e arenitos vulcânicos. As rochas vulcânicas do Grupo Península Fildes encontram-se frequentemente intrudidas por *plugs* e diques de composição básica a ácida, que foram individualizados como uma unidade formacional diferente, o Grupo Baía do Almirantado (Birkenmajer, 1980).

A Península Fildes apresenta numerosos cones vulcânicos parcialmente preservados, além de enxames de diques radiais e anelares. Nas porções internas dos cones vulcânicos e enxames de diques ocorrem blocos de basaltos, depósitos piroclásticos de queda e de *lahar*. Ampla alteração hidrotermal é observada nas rochas vulcânicas da península, principalmente em fraturas e intrusões associadas.

Os dados estruturais definem padrões de lineamentos regionais de direção E-W, N-S e N30°-40°E. Em afloramento predominam fraturas preenchidas e falhas de direção E-W com mergulho subvertical além de fraturas com a orientação E-W com mergulho de 69° e N66°-75E° com mergulho subvertical. A análise cinemática de falhas evidenciam o domínio de tectônica extensional e direcional para a região em estudo.

PETROGRAFIA

As rochas vulcânicas foram classificadas segundo o diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986) onde ocupam o campo dos basaltos e andesitos basálticos. Texturalmente, ambos os tipos caracterizam-se pela presença de textura porfirítica e glomeroporfirítica, representadas por fenocristais de plagioclásio e piroxênio isolados e/ou agrupados. Nas amostras com grau de cristalização mais avançado observa-se a presença de textura intergranular, com piroxênio ocupando os espaços finais entre os grãos e naquelas de natureza hemicristalina observa-se textura intersertal. Os fenocristais de plagioclásio, piroxênio, subordinadamente, olivina parcial ou totalmente

alterada e minerais opacos são envolvidos por uma matriz constituída por microfenocristais e micrólitos de plagioclásio, piroxênio, minerais opacos e em alguns casos vidro vulcânico. O vidro, quando alterado é substituído por argilo-minerais, determinados por difratometria de raios-x como do grupo das esmectitas. O ortopiroxênio é uma fase rara, constatada somente nos andesitos basálticos. Em algumas amostras observou-se a presença de raras vesículas e amígdalas preenchidas por quartzo e/ou esmectita, além de microveios de carbonato.

Os fenocristais de plagioclásio são subédricos, com hábito tabular alongado e, algumas vezes, anédricos, com 0,3 mm a 2,5 mm de comprimento, sendo mais frequente dimensões da ordem de 1,0 mm. É comum macla do tipo polissintética da albita além da combinação albita-periclínio. Secundariamente, ocorrem grãos zonados e microfraturas preenchidas por carbonato e/ou esmectita.

Os grãos de clinopiroxênio são subédricos a anédricos, têm dimensões de 0,3 mm a 1,6 mm de comprimento, com uma moda de 0,7 mm. Apresentam fraco pleocroísmo em tons verde-claros. Alguns grãos possuem macla polissintética ou do tipo ampulheta. Observa-se também feições de corrosão em alguns grãos de plagioclásio e piroxênio, responsáveis pela geração de golfos e pelo hábito subarredondado destes. São também constatadas reabsorções internas que são preenchidas pela matriz, carbonato e/ou esmectita.

Os fenocristais de ortopiroxênio são incolores, subédricos e o tamanho varia entre 0,6 mm e 1,0 mm de comprimento.

A olivina apresenta a forma anédrica e globulosa ou subédrica e hábito poliedral. Apresenta entre 0,2 mm e 1,0 mm de diâmetro, com média de 0,4 mm. Em geral, está parcial ou totalmente alterada para carbonato ou minerais opacos, principalmente nas bordas ou material de cor esverdeada, provavelmente bowlingita. Localizadamente ocorre serpentina. Iddingsita é observada nas microfraturas da olivina.

As fases acessórias são magnetita e titanomagnetita. Os grãos são anédricos, com tamanho variando entre 0,1 a 0,5 mm de diâmetro, às vezes possuem hábito esquelético, raramente são subédricos.

QUÍMICA MINERAL

A composição química do plagioclásio dos basaltos e andesitos basálticos é semelhante, sendo observado três grupos distintos de grãos: I) fenocristais subédricos, tabulares, maclados e zonados; II) fenocristais subédricos, tabulares e maclados; III) microfenocristais da matriz.

Tabela 1 - Teores dos elementos maiores e menores (% de óxido), traços (ppm) e ETR (ppm) das rochas vulcânicas da Península Fildes.

Amostra	AF-2A	AF-2B	AF-5	AF-12A	AF-12B	AF-14	AF-16A	AF-16B	AF-20	AF-21
SiO ₂	51,44	53,22	50,34	48,62	51,13	50,19	52,64	48,41	49,15	52,14
TiO ₂	0,93	0,88	0,45	0,74	0,45	0,84	0,71	0,85	0,83	0,85
Al ₂ O ₃	16,75	17,18	20,56	21,98	18,23	19,89	20,64	21,43	21,13	17,96
FeOT	8,79	8,22	7,59	8,29	7,17	9,64	7,96	6,33	9,35	10,05
MnO	0,14	0,14	0,12	0,14	0,11	0,18	0,14	0,11	0,12	0,18
MgO	4,98	4,68	6,15	3,34	6,77	4,31	4,25	2,65	3,04	3,73
CaO	8,41	8,35	10,90	10,06	12,00	9,97	10,39	13,83	10,07	7,79
Na ₂ O	2,95	3,18	2,16	2,93	0,75	3,31	1,84	1,75	3,12	3,58
K ₂ O	0,94	1,03	0,79	0,27	0,30	0,57	0,40	0,07	0,35	0,67
P ₂ O ₅	0,14	0,14	0,09	0,11	0,09	0,13	0,12	0,15	0,13	0,15
P.F.	4,08	2,62	1,78	4,51	3,50	1,01	0,11	4,66	3,46	2,03
Total	99,55	99,64	100,93	100,99	100,83	100,04	99,53	100,70	100,75	99,13
Cr	72	123	105	59	n.d.	59	n.d.	n.d.	54	68
Ni	38	56	n.d.	n.d.	n.d.	88	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Co	27	28	33	24	29	31	27	28	29	27
Rb	18	18	11	5	19	5	6	2	3	11
Ba	201	204	155	109	514	149	151	188	139	174
Sr	483	467	608	528	581	575	535	593	539	514
Nb	4	4	1	1	5	1	2	2	1	2
Zr	84	97	54	38	177	44	87	94	50	64
Hf	2	3	1	1	5	1	2	2	1	2
Y	14	15	10	11	n.d.	12	n.d.	n.d.	14	16
La	9,660	10,240	6,240	4,630	30,900	6,450	7,200	10,500	6,005	7,690
Ce	21,080	21,980	13,880	10,270	66,850	14,000	16,600	23,000	13,110	16,380
Pr	2,473	2,627	1,698	1,345	n.d.	1,820	n.d.	n.d.	1,789	2,318
Nd	12,070	13,980	8,760	7,400	37,000	9,680	13,000	16,000	8,870	11,670
Sm	2,980	3,420	2,150	1,810	9,100	2,760	2,600	3,100	2,500	2,960
Eu	0,883	1,073	0,632	0,738	2,380	0,921	1,020	1,180	0,900	1,096
Gd	2,570	2,940	1,570	1,820	n.d.	2,360	n.d.	n.d.	2,170	2,640
Tb	0,450	0,500	0,270	0,350	1,100	0,390	n.d.	n.d.	0,380	0,460
Dy	2,910	2,800	1,860	2,060	n.d.	2,340	n.d.	n.d.	2,560	3,090
Ho	0,480	0,550	0,300	0,420	n.d.	0,450	n.d.	n.d.	0,480	0,590
Er	1,340	1,500	0,930	1,000	n.d.	1,270	n.d.	n.d.	1,360	1,640
Tm	0,190	0,211	0,142	0,150	n.d.	0,158	n.d.	n.d.	0,177	0,233
Yb	1,550	1,410	1,060	1,050	2,450	1,080	1,200	1,300	1,450	1,590
Lu	0,251	0,272	0,155	0,244	0,380	0,2000	0,190	0,240	0,233	0,268

n.d. = não determinado P.F. = perda ao fogo

Os fenocristais subédricos, tabulares, maclados e zonados apresentam uma zonação do tipo oscilatória normal, com variações decrescentes nos teores de anortita em direção às bordas dos grãos, uma feição comum nas rochas eruptivas orogênicas (Ewart, 1982). Os dados químicos obtidos para os plagioclásios zonados dos basaltos da Península Fildes, estão em concordância com os dados apresentados por Bailey *et al.* (1989) para os basaltos do arco-de-ilhas de

Kurile (noroeste do Pacífico), onde o núcleo dos fenocristais de plagioclásios zonados apresenta semelhante variação no conteúdo de An (94-70), com a persistente ocorrência de núcleos cálcicos.

Os fenocristais subédricos, tabulares e maclados são principalmente do tipo bytownita (An₇₂₋₈₉) chegando até anortita (An₉₀₋₉₅). Estes resultados são similares aos encontrados nos estudos de Ewart (1982), que demonstram a dominância da bytownita nos basaltos

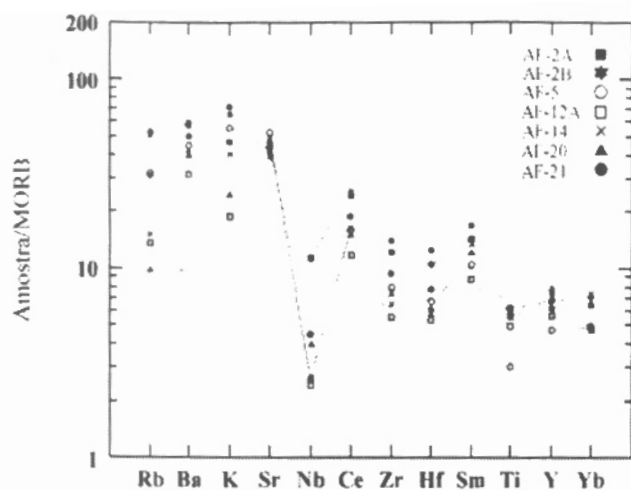


Figura 2 - Padrões geoquímicos das rochas vulcânicas da Península Fildes, normalizados pelo MORB (Thompson *et al.*, 1983).

baixo-K e cálcico-alcálicos, podendo as composições do plagioclásio chegarem até anortita, mesmo em andesitos. O alto conteúdo de An nos plagioclásios de basaltos são considerados característicos de basaltos de arco-de-ilhas (BAI).

Os microfenocristais da matriz distinguem-se quimicamente dos fenocristais, pelo conteúdo mais baixo de anortita, sendo representados principalmente por labradorita (An₅₀₋₆₉), e subordinadamente, andesina (An₄₀₋₄₉).

As composições químicas dos fenocristais e microfenocristais de piroxênio enquadram-se no campo QUAD (Morimoto, 1988), revelando o elevado conteúdo de Ca+Mg+Fe²⁺(Q) e a baixa quantidade de 2Na(J). Os clinopiroxênios são predominantemente do tipo augita (Wo₂₁₋₄₂; En₃₇₋₅₂; Fs₁₃₋₂₆) e de forma mais rara pigeonita (Wo₈₋₁₅; En₅₂₋₆₇; Fs₂₂₋₃₃). Bronzita (Wo₃₋₄; En₆₉₋₇₁; Fs₂₅₋₂₇) foi identificada apenas nos andesitos basálticos.

A olivina é crisolita (Fo₇₉₋₈₁), sendo esta fase, de acordo com Ewart (1982) comum em basaltos baixo-K e cálcico-alcálicos. Bailey *et al.* (1989) encontraram fenocristais de olivina em todas as amostras de basaltos cálcico-alcálicos de Kurile (noroeste do Pacífico), com conteúdos de Fo de 65 e 93.

Os minerais opacos são magnetita e titanomagnetita. O teor de TiO₂ e a concentração de ulvoespínélio (UES) variam de 5% a 29% e de 16% a 26%, respectivamente.

LITOQUÍMICA E TRATAMENTO DOS DADOS

Foram analisadas 10 amostras de rochas vulcânicas da Península Fildes cujos teores de SiO₂ variam de 48% a 54% (Tab.1). São destacáveis os

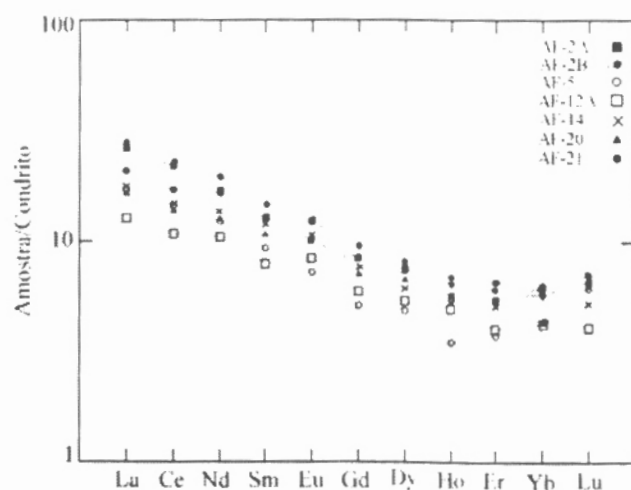


Figura 3 - Distribuição dos ETR das rochas vulcânicas da Península Fildes, normalizados por um padrão condritico (Nakamura, 1974).

baixos teores de TiO₂, inferiores a 1%, aliados a conteúdos elevados de Al₂O₃ da ordem de 16% a 22%, com moda de 19,79%. A razão FeO^T/MgO varia de 1 até 3, sendo os conteúdos de CaO em geral superiores aos de FeO^T. Os teores de Na₂O variam de 0,75% até 3,58% e os conteúdos de K₂O são inferiores a 1%.

Os elementos-traço como Ni, Cr e Co possuem baixos teores. Estes, juntamente com os conteúdos relativamente baixos de MgO, indicam que as rochas vulcânicas da Península Fildes representam composições evoluídas.

Tabela 2 - Teste com elementos-traço e ETR para a hipótese de cristalização fracionada da amostra AF-5 para AF-2B (C_L=C₀*F^(D-1); F=0,65.

Elemento	AF-5 (ppm)	Calculada(ppm)	AF-2B (ppm)
Rb	10,89	16,40	18,34
Sr	608,35	483,00	466,95
Ba	155,01	219,00	203,72
Ni	88,00*	51,03	56,00
Cr	105,00	122,00	123,00
Co	32,80	33,20	28,20
Zr	53,93	73,40	96,77
Y	9,60	12,10	15,10
Nb	0,93	1,41	4,01
La	6,24	9,19	10,24
Ce	13,88	20,4	21,98
Nd	8,76	13,1	13,98
Sm	2,15	3,24	3,42
Eu	0,63	0,63	1,07
Tb	0,27	0,41	0,50
Dy	1,86	2,82	2,80
Er	0,93	1,41	1,50
Yb	1,06	1,61	1,41
Lu	0,16	0,24	0,27

*AF-14

Tabela 3 - Coeficientes de distribuição total de elementos-traço para um fracionamento de 77% de plagioclásio +2% de clinopiroxênio +21% de olivina.

Elemento Traço	Coeficiente de Distribuição Total (77%pl + 21%ol + 2%cp)	Elemento Terra Rara	Coeficiente de Distribuição Total
Rb	0,04869	La	0,10111
Sr	1,53513	Ce	0,10676
Ba	0,20154	Nd	0,05857
Ni	2,14000	Sm	0,04449
Cr	0,64668	Eu	1,00158
Co	0,97033	Tb	0,03588
Zr	0,28414	Er	0,02710
Y	0,46604	Yb	0,02511
Nb	0,02814	Lu	0,02412

As rochas vulcânicas quando normalizadas pelo padrão MORB (Thompson *et al.*, 1983) em diagrama multi-elementar mostram enriquecimento de K, Rb, Ba, Sr em relação aos HFSE e anomalias negativas de Nb e Ti (Fig.2). Esta assinatura geoquímica reflete, provavelmente, o metassomatismo da fonte mantélica por um mecanismo de transferência de elementos de grande raio iônico da placa litosférica e/ou de sedimentos do assoalho oceânico para a cunha do manto. As anomalias negativas de Nb e Ti, típicas de rochas orogênicas, podem ser atribuídas à presença de uma fase residual como rutilo, esfeno, ilmenita ou perovskita durante a fusão parcial (McCulloch & Gamble, 1991).

A distribuição dos elementos terras raras normalizados por um padrão condritico (Nakamura, 1984) (Fig.3), mostra enriquecimento em elementos terras raras leves (ETRL) com a razão La/Yb entre 4

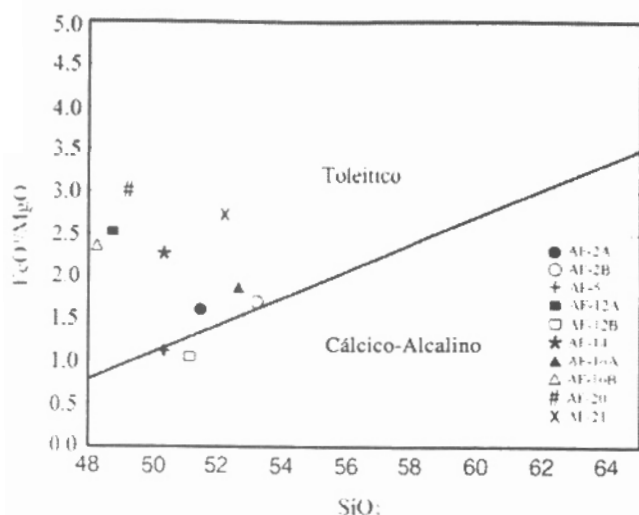


Figura 4 - Variação dos teores de SiO₂ versus a razão FeO⁷/MgO das rochas vulcânicas da Península Fildes. Campos toleítico e cálcico-alcalino de Miyashiro (1974).

e 13. Consta-se também, uma suave anomalia positiva de Eu em três amostras (AF-12A, AF-20 e AF-21), o que pode ser indicativo de acumulação de plagioclásio.

Balanco de Massa

A hipótese de cristalização fracionada para a evolução das rochas vulcânicas da Península Fildes foi testada a partir de cálculos de balanço de massa, de acordo com os critérios utilizados por Stormer & Nicholls, 1978.

O teste utilizou uma amostra (AF-5) com teor de SiO₂ e MgO próximo a 51% e 7%, respectivamente, como representante do líquido básico menos diferenciado e uma composição mais evoluída (AF-2B), com teor de SiO₂ de 53,22% e MgO de 4,68% como o líquido hipoteticamente derivado. As composições dos minerais utilizados no teste são aquelas obtidas nas fases analisadas da amostra AF-5. Evitou-se o uso das amostras com anomalia positiva de Eu, dada a possibilidade de representarem líquidos acrescidos de plagioclásio.

O fracionamento de 38% do líquido parental (AF-5), a partir da extração de 77% de plagioclásio + 21% de olivina + 2% de clinopiroxênio, "gera" um

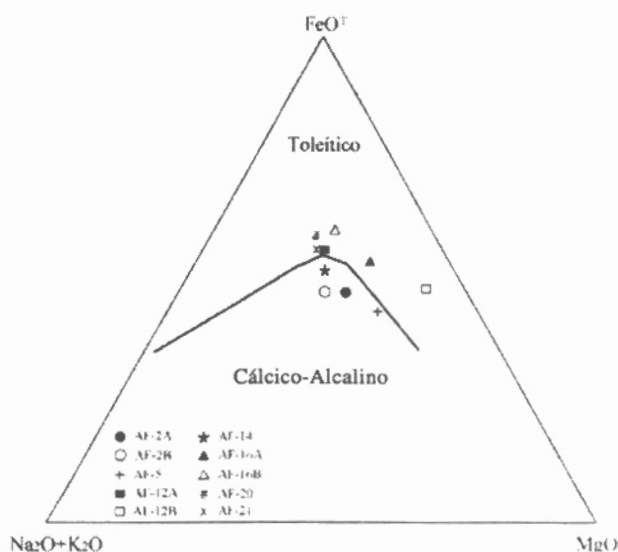


Figura 5 - Distribuição das rochas vulcânicas da Península Fildes no diagrama FMA. Separação dos campos toleítico e cálcico-alcalino conforme Irvine & Baragar (1971).

líquido residual cuja composição aproxima-se da amostra assumida como derivada (AF-2B), sendo o valor da soma dos quadrados dos resíduos inferior a unidade (0,86).

Teste com elementos-traço e ETR com o objetivo de avaliar os percentuais obtidos na hipótese de cristalização fracionada, obteve valores que aproximam-se dos observados na amostra mais

Tabela 4 - Resultados isotópicos dos basaltos da Península Fildes.

Amostra	AF-5	AF-14	AF-20	AF-25E	AF-25F
Idade	55 Ma.	55 Ma.	55 Ma.	55 Ma.	50 Ma.
Rb	8,802	4,377	2,601	64,722	15,632
Sr	550,939	635,957	570,506	347,953	552,314
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,703337	0,703457	0,703708	0,703357	0,703253
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	0,0462	0,0199	0,0132	0,5380	0,0819
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	n.d.	0,15333	0,16179	n.d.	n.d.
Sm	n.d.	2,5765	2,4961	n.d.	n.d.
Nd	n.d.	10,1594	9,3275	n.d.	n.d.
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	n.d.	0,512967	0,512959	n.d.	n.d.
$\epsilon\text{Nd}(0)$	n.d.	6,41	6,27	n.d.	n.d.
$\epsilon\text{Nd}(t)$	n.d.	6,72	6,52	n.d.	n.d.
T(DM)Ma.	n.d.	246	302	n.d.	n.d.

evoluída (AF-2B), conforme dados apresentados na tabela 2. Os valores dos coeficientes de distribuição total calculados para os elementos-traço são indicados na tabela 3.

Afinidade Geoquímica

A interpretação dos dados litoquímicos das rochas vulcânicas da Península Fildes levou diferentes autores a apresentar assinaturas geoquímicas divergentes, tais como cálcico-alcálica com afinidade toleítica (Smellie *et al.*, 1984) e cálcico-alcálica (Hawkes, 1961; Birkenmajer, 1980).

No diagrama $\text{FeO}^T/\text{MgO} \times \text{SiO}_2$ (Fig.4) a maior parte das rochas vulcânicas ocupam o campo dos toleitos e apenas as amostras AF-5 e AF-12B plotam no campo cálcico-alcálico. No diagrama FMA (Fig.5), algumas amostras ocupam o campo toleítico, enquanto outras, o campo das rochas cálcico-alcálicas. Estes dados demonstram que os conteúdos absolutos de FeO^T e das razões FeO^T/MgO contornam os limites estipulados para estas duas séries, não sendo, portanto, diagnósticos. A combinação de parâmetros geoquímicos é mais indicada e sugere uma afinidade cálcico-alcálica, destacando-se:

- alto conteúdo de Al_2O_3 geralmente superior a 17%;
- $\text{TiO}_2 < 1\%$;
- conteúdos de $\text{CaO} \geq \text{FeO}^T$;
- conteúdos relativamente elevados de LIL's especialmente Ba e Sr;
- teores de Zr superiores a 40 ppm;
- e um padrão enriquecido em terras raras leves.

Estes parâmetros sugerem que as rochas vulcânicas da Península Fildes representam manifestações cálcico-alcálicas, geradas a partir de fusões de um manto metassomatizado em um ambiente de arco-de-ilhas. Os conteúdos relativamente elevados

de FeO^T podem ser atribuídos à baixa fugacidade de oxigênio nos magmas que geraram estas rochas o que pode ter impedido um expressivo fracionamento de titanomagnetita. O FeO deve ter sido incorporado principalmente nos silicatos máficos, cujos conteúdos não são muito expressivos, determinando uma alta razão FeO^T/MgO nos líquidos residuais. Esta hipótese permite explicar a *trend* aparentemente toleítica em diagramas do tipo FMA e FeO^T/MgO versus SiO_2 , aliado a outras características geoquímicas de rochas cálcico-alcálicas.

Geoquímica Isotópica

As razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nos basaltos da Península Fildes variam de 0,7033 a 0,7037, enquanto as de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ apresentaram valores de 0,512959 e 0,512967, sendo os valores de ϵNd para $t = 55$ Ma. de + 6,52 e + 6,72 (Tab. 4). Esta assinatura isotópica sugere que os magmas foram gerados a partir da fusão parcial do manto litosférico em um ambiente de arco-de-ilhas. Tal hipótese foi também postulada por Li & Liu (1987), com base nos dados isotópicos de Sr e Pb.

CONCLUSÕES

A atividade magmática da Península Fildes é marcada pela extrusão de basaltos e andesitos basálticos, em geral de natureza hemicristalina. Dados de química mineral indicam composições cálcicas para os fenocristais de plagioclásio (bytownita-anortita), piroxênio do tipo augita, além de raros grãos de pigeonita, bronzita, olivina do tipo crisolita e titanomagnetita como a fase óxido.

Os padrões geoquímicos indicam que as rochas estudadas têm uma assinatura cálcico-alcálica. Esta

afinidade é demonstrada pelos conteúdos elevados de Al_2O_3 , $\text{CaO} \geq \text{FeO}^T$, enriquecimento de Sr e Ba, aliados a anomalias negativas de Nb e Ti em diagramas multi-elementares, bem como pelo enriquecimento de ETRL. Os conteúdos baixos de Ni, Cr e Co combinado aos valores de $\text{MgO} < 7\%$ nas rochas básicas são indicativos de composições evoluídas. Testes com elementos maiores e traços permitem sugerir que o processo de diferenciação foi controlado pela cristalização fracionada de olivina + clinopiroxênio + plagioclásio. A extração desta associação mineral é coerente com reduzido aumento de SiO_2 durante a diferenciação, bem como pela razão elevada de FeO^T/MgO observada nos andesitos basálticos.

Diagramas do tipo FMA e FeO^T/MgO versus SiO_2 não permitiram definir adequadamente a natureza toleítica ou cálcico-alcálica das rochas vulcânicas da Península Fildes.

A hipótese das rochas vulcânicas da Península Fildes terem sido geradas em um ambiente de arco continental (Trow & Gambôa, 1992) não é consistente com os dados isotópicos apresentados. As razões iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidas nos basaltos da Península Fildes de 0,7033 a 0,7037, e os valores de ϵNd para $t = 55$ Ma. de + 6,52 e + 6,72 são indicativas de uma fonte mantélica com pouca ou nenhuma assimilação de crosta continental.

Os padrões geoquímicos e isotópicos indicam que as rochas vulcânicas da Península Fildes foram geradas a partir de fusões de um manto litosférico modificado pelo enriquecimento de Ba, Sr e ETRL em um ambiente do tipo arco-de-ilhas.

Agradecimentos - ao CNPq (proc. 142181/97-8) pelo apoio financeiro, ao PROANTAR e à SECIRM pelo apoio logístico, ao Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica- IG-UFRGS pelas facilidades de infra-estrutura. Ao bolsista de Iniciação Científica Daniel Fernandes Matos (FAPERGS) pela revisão bibliográfica e das tabelas. A Guilherme Mallmann, bolsista de Iniciação Científica (CNPq) pela edição das figuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bailey, J.C.; Frowla, T.I. and Burikova, I.A. 1989. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile Island-Arc Basalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **102**: 265-280.
- Birkenmajer, K. 1980. A revised lithostratigraphic standard of the Tertiary of King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica). *Bulletin de L'Academie Polonaise des Sciences, Série des Sciences de la Terre*, Varsovie, **27**(1-2): 49-57.
- Ewart, A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In: THORPE, R.S. (ed.). *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, John Wiley & Sons. p. 25-87.
- Figueiredo, A.M.G. and Marques, L.S. 1989. Determination of rare earths and other trace elements in the Brazilian Geological Standards BB-1 and GB-1 neutron activation analysis. *Geochimica Brasiliensis*, **3** (1):1-8.
- Henderson, P. 1984. *Inorganic Geochemistry*. Oxford, Pergamon Press, 2 ed., 353p.
- Hawkes, D.D. 1961. The geology of the South Shetland Islands: I. The petrology of King George Island. *Falkland Islands Dependencies Survey Scientific Reports*, **26**:28 p.
- Le Bas, M.J.; le Maitre, R.W.; Streckeisen, A.; Zanettin, B. 1986. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology*, **27**: 745-750.
- Li, Z. & Liu, X. 1987. The geological and geochemical evolution of Cenozoic volcanism in Central and Southern Fildes Peninsula, King George Island, South Shetland Islands. In: THOMSON, M.R.A.; CRAME, J.A. AND THOMSON, J.W. (eds.). *Geological Evolution of Antarctica*. Japan, Proceedings of the Fifth International Symposium on Antarctic Earth Sciences. p. 487-491.
- McCulloch, M.T. & Gamble, J.A. 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, **102**:358-374.
- Morimoto, N.C. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist*, **73** (9-10):1123-1133.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimistry Cosmochemistry Acta*, **38**: 757-775.
- Smellie, J.L.; Pankhurst, R. Thomson, M.R.A. and Davies, R. 1984. The geology of the South Shetland Islands: stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **87**:84 p.
- Stormer, J.C. & Nicholls, J. 1978. XLFRAC: a program for interactive testing of magmatic differentiation models. *Computers & Geosciences*, **4**:141-159.
- Thompson, R.N., Morrison, A.P., Dickinson, J.P.; Hendry, G.L. 1983. Continental flood basalts ...arachnids rule OK?. In: Hawkesworth, C.J. & Norry, M.J (eds). *Continental basalts and mantle xenoliths*. Nantwich, Shiva. p. 158-185..
- Trouw, R.A.J. & Gambôa, L.A.P. 1992. Geotranssect Drake Passage-Weddell Sea. A discussion of the main tectonic features. In: CONGRESSO GEOLÓGICO DE ESPAÑA, 3. Y CONGRESSO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA, 8., 1992, Salamanca, España. Simposios...Salamanca, España, T3, p. 117-125.