QUÍMICA MINERAL DAS ROCHAS VULCÂNICAS DA PENÍNSULA FILDES (ILHA REI GEORGE), ANTÁRTICA

ADRIANE MACHADO¹, EVANDRO FERNANDES DE LIMA², FARID CHEMALE JR.², JOAQUIM DANIEL DE LIZ³ & JANAÍNA NUNES ÁVILA³

ABSTRACT MINERAL CHEMISTRY OF VOLCANIC ROCKS FROM FILDES PENINSULA (KING GEORGE ISLAND), ANTARTIC Studies realized in the Fildes Peninsula (southwest King George Island, Antarctic) permitted the identification of volcanic rocks succession from basic to intermediate composition. Dacites and rhyolites are rare. The age of these rocks vary from Paleocene to Eocene. Geochemistry studies indicate these rocks are rich in Al_2O_3 , Rb, Ba, Sr and they present enrichment in LREE relative to HREE. It is typical of high-Al volcanic association with calc-alkaline affinity. It is evinced for Alkali Index x Al_2O_3 diagram. The Ni, Cr, Co, MgO contents of basic rocks are lower than primary compositions and it discloses that these magmas are evolved. $^{87}Sr/^{86}Sr$ initial ratios are 0.7033 to 0.7037 and $^{143}Nd/^{144}Nd$ are 0.512959 to 0.512967. The values of ϵNd ($t = 55$ Ma) range between + 6.52 and + 6.72. The Isotopic and Geochemistry data suggest that the rocks were generated from partial melting of lithospheric mantle in an island arc environment. Fildes Peninsula volcanic rocks present porphyritic, glomeroporphyritic, intergranular and intersertal textures. Mineral chemistry indicates typical composition of low-K and calc-alkaline series of island arcs. Plagioclase compositions are mostly anorthite and bytownite in the basic rocks and mostly bytownite in the intermediate rocks. Plagioclase matrix is labradorite. Augite is the main mafic phase ($Wo_{24-37}, En_{44-50}, Fs_{19-26}$) in the basic rocks. The pyroxene composition ($Wo_{38}, En_{45}, Fs_{17}$) in the basaltic andesites is similar to basalts. Pigeonite ($Wo_{10-15}, En_{52-67}, Fs_{23-33}$) is unusual phase and it is only presents in the matrix of basalts. Bronzite ($Wo_{3-4}, En_{70}, Fs_{26-27}$) occurs as microphenocryst in two samples of basaltic andesites. Olivine is common phase in the basic rocks and it shows crissolite composition. The opaque phase is represented for magnetite. It contains ulvöspinel from 16 to 25%. Geothermobarometry of clinopyroxene-orthopyroxene from basaltic andesite (AF-21) was obtained by Ca-QUILF Program. It yielded a crystallization and equilibration temperature between 1065°C to 1070°C for pressures from 1 bar to 1500 bar. The evaluation of Mineral Chemistry, Lithochemistry and Isotopic compositions are according to hypothesis of fractional crystallization for evolution of Fildes Peninsula volcanic rocks. It was not found evidences for interference of other petrogenetic processes.

Keywords: basalts, mineralogy, Antarctic

RESUMO Estudos realizados na Península Fildes, sudoeste da Ilha Rei George (Arquipélago Shetland do Sul, Antártica), permitem a identificação de uma sucessão de rochas vulcânicas básicas a intermediárias, além de raros dacitos e riolitos, de idades paleocênica a eocênica. A geoquímica destas rochas indica conteúdos elevados de Al_2O_3 , Rb, Ba, Sr e um leve enriquecimento em ETRLs em relação a ETRPs, típicos de uma associação vulcânica de alto-alumínio de afinidade cálcico-alcálica. Entre os diagramas que discriminam séries magmáticas, a do Índice de Alcalinidade versus Al_2O_3 é o que melhor determina a condição cálcico-alcálica destes vulcanitos. Os conteúdos de Ni, Cr, Co e MgO das rochas básicas são inferiores àqueles encontrados em composições primárias e atestam a condição evoluída destes magmas. Os dados isotópicos obtidos em rochas básicas indicam razões iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0,7033 a 0,7037 e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ de 0,512959 e 0,512967. Os valores de ϵNd para $t = 55$ Ma (idade modelo) é de + 6,52 e + 6,72. A assinatura isotópica e os dados geoquímicos sugerem que os vulcanitos foram gerados a partir da fusão parcial do manto litosférico em um ambiente de arco de ilhas. As rochas vulcânicas da Península Fildes possuem texturas porfírica, glomeroporfírica, intergranular e intersertal. Dados de química mineral indicam composições típicas das séries baixo-K e cálcico-alcálicas de arco de ilhas. As séries de diferentes populações de fenocristais de plagioclásio variam de anortita a bytownita nos termos básicos e são predominantemente bytownita nas rochas intermediárias. Na matriz dos vulcanitos o plagioclásio é do tipo labradorita. A augita é a fase máfica principal e varia de $Wo_{24-37}, En_{44-50}, Fs_{19-26}$ nos termos básicos e de $Wo_{38}, En_{45}, Fs_{17}$ nos andesitos basálticos. Pigeonita ($Wo_{10-15}, En_{52-67}, Fs_{23-33}$) é uma fase rara e restrita à matriz dos basalts. Bronzita ($Wo_{3-4}, En_{70}, Fs_{26-27}$) é identificada como microfenocristal em duas amostras de andesitos basálticos. A olivina é uma fase comum nos termos básicos e está geralmente alterada, com dados obtidos em um diabásio indicando uma composição do tipo crisólita. A fase opaca identificada é magnetita com uma concentração de ulvöspinel da ordem de 16% a 25%. Dados de química mineral do par clinopiroxênio-ortopiroxênio do andesito basáltico (AF-21) utilizados no programa Ca-QUILF sugerem uma temperatura de cristalização e um equilíbrio destas fases dentro do intervalo de 1065°C-1070°C para pressões da ordem de 1 bar a 1500 bar. A investigação dos dados de química mineral, litotípica e isotópica são coerentes com a hipótese de cristalização fracionada para evolução dos vulcanitos da Península Fildes, não sendo encontradas evidências que sugerissem a interferência de outros fatores petrogenéticos.

Palavras-chaves: basalts, mineralogia, Antártica

INTRODUÇÃO O Arquipélago Shetland do Sul (Antártica) constitui uma estrutura arqueada com cerca de 550 km de comprimento onde ilhas e blocos continentais submersos distribuem-se desde o extremo sul da América do Sul até a Península Antártica. Evidências geofísicas sugerem que estas ilhas estão localizadas em uma pequena placa crustal e podem ser divididas em duas partes geográfica e geologicamente distintas (Tyrrell 1945): o grupo de ilhas Elefante e Clarence, constituídas por rochas metamórficas de baixo grau e pelas ilhas distribuídas entre Rei George e Low, formadas por rochas ígneas e vulcanoclásticas que são separadas do primeiro grupo por uma distância de 120 km. A Península Fildes (Fig. 1) situa-se no sudoeste da Ilha Rei George e é constituída por uma sucessão de rochas vulcânicas paleocênica a eocênica com intercalações de vulcanoclásticas de granulometria grossa a fina. A origem destes vulcanitos está vinculada à subducção da placa Antártica sob a placa de Aluke ao redor do limite Cretáceo-Terciário (Barker 1970, Barker & Griffiths 1972).

As rochas vulcânicas são representadas por basalts e andesitos basálticos, além de raros andesitos, dacitos e riolitos. As rochas vulcanoclásticas são definidas como brechas vulcânicas, aglomerados,

conglomerados vulcânicos, tufo e arenitos tufáceos. *Plugs* e diques de composição básica a ácida cortam as rochas vulcânicas e vulcanoclásticas. Cones vulcânicos parcialmente dissecados, enxames de diques radiais e anclares, em geral hidrotermalmente alterados, também ocorrem.

O presente trabalho apresenta resultados de química mineral obtidos a partir de uma campanha de amostragem realizada no verão de 1995. Inserem-se em um projeto mais amplo de investigação de rochas vulcânicas, que incluem as ilhas Rei George, Nelson, Robert, Greenwich e Livingston.

O objetivo do presente trabalho é apresentar e discutir resultados de química mineral e litotípica das rochas vulcânicas básicas e intermediárias da Península Fildes para propor a origem e evolução dos vulcanitos.

MÉTODOS ANALÍTICOS Os dados de química mineral em plagioclásio, piroxênio, olivina e minerais opacos, obtidos em 11 amostras (295 pontos analisados) no Laboratório de Microsonda Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, utili-

1 - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Prédio 43113, Bloco I, Sala 207, Agronomia, 91501-970, Porto Alegre, RS, e-mail: adrianemachado@yahoo.com.br

2 - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Agronomia, 91501-970, Porto Alegre, RS, e-mails: evandro@if.ufrgs.br; chemale@if.ufrgs.br

3 - Bolsista de Iniciação Científica CNPq, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, 91501-970, Porto Alegre, RS, e-mails: javila@if.ufrgs.br; danieliz@hotmail.com

Figura 1 - Mapa de localização da Península Fildes, Antártica.

zando-se uma microsonda eletrônica do tipo CAMECA SX 50 com quatro espectômetros WDS verticais e um EDS keveX. A correção foi do tipo PAP. Os padrões químicos utilizados para a calibragem foram: Si - Anor; Ti - TiO_2 ; Al - Anor; Fe - MnHO; Mg - MnHO; Mn - MnHO; Ca - Anor; Na - Jade; K - Asbe; Ni - NiO; Cr - Cr_2O_3 . A tensão de aceleração, a corrente, o diâmetro do feixe e os tempos de contagem de pontos (cada elemento químico) estão abaixo descritos para cada mineral, respectivamente:

Plagioclásio: 15 kV; 10 nA; 5 μm ; Si (30 s); Al (20 s); Fe (60 s); Mg (30 s); Ca (30 s); Na (30 s); K (30 s);

Piroxênio: 15 kV; 10 nA; 1 μm ; Si (30 s); Ti (30 s); Al (25 s); Fe (20 s); Mg (25 s); Mn (30 s); Ca (25 s); Na (30 s); K (25 s); Cr (30 s);

Olivina: 15 kV; 10 nA; 1 μm ; Si (40 s); Ti (20 s); Al (40 s); Fe (20 s); Mg (20 s); Mn (20 s); Ca (30 s); Na (30 s); Ni (30 s); Cr (40 s);

Minerais opacos: 15 kV; 25 nA; 1 μm ; Si (50 s); Ti (20 s); Al (30

s); Fe (20 s); Mg (30 s); Mn (30 s); Ca (40 s); Ni (40 s); Cr (40 s).

As análises químicas de rocha total de elementos maiores, traço e terras raras foram realizadas no Laboratório de Fluorescência de Raios-X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - São Paulo (ativação neutrônica), segundo o método de Figueiredo & Marques (1989) e no Activation Laboratories LTD (ACTLABS), Canadá, utilizando-se a técnica de espectrometria de plasma de argônio (ICP).

Os minerais de argila foram inicialmente identificados por métodos óticos convencionais e, posteriormente, realizou-se o método difratométrico qualitativo do pó (câmara de Debye Sherrer) no difratômetro de Raios-X da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Os cálculos geotermométricos foram realizados por meio do programa Ca-QUILF (Piroxênio cálcico-Quartzo-Ulvoespínlio-Ilmenita-

Fayalita) de Frost & Lindsley (1992), cujas considerações teóricas constam em Lindsley & Frost (1992).

Os dados analíticos de Sm-Nd e Rb-Sr foram obtidos no Laboratório de Geoquímica Isotópica da Universidade de Kansas (E.U.A.). As composições isotópicas foram medidas com um espectrômetro de massa VG-Sector de cinco coletores. O Rb e Sm foram depositados em filamentos de Ta e analisados no modo coletor simples ou multicoletores estáticos. O Nd e Sr foram depositados em filamentos de Re e analisados no modo dinâmico.

PETROGRAFIA As rochas vulcânicas são classificadas segundo Le Bas *et al.* (1986), que estabelecem que os basaltos possuem menos de 52% de SiO_2 e os andesitos basálticos possuem entre 52 e 56%.

Os basaltos e andesitos basálticos possuem textura porfírica, glomeroporfírica, intergranular e intersertal. Os fenocristais são predominantemente de plagioclásio, tabulares, maclados ou zonados, aliados a microfenocristais de clinopiroxênio e minerais opacos, localmente estando a olivina parcial ou totalmente alterada. O ortopiroxênio ocorre como microfenocristal e é identificado em apenas duas amostras de andesito basáltico. A matriz é constituída por microcristais e microlitos de plagioclásio, piroxênio e minerais opacos. O resíduo de cristalização é constituído por vidro vulcânico e por uma alteração verde-amarelada a amarelo-esverdeada classificada, por difração de Raios-X, como argilo-minerais do grupo da esmectita. Algumas amostras contêm vesículas e amígdalas preenchidas por quartzo e/ou argilo-minerais (esmectita), além de microveios de carbonato. A textura glomeroporfírica é caracterizada pelo agrupamento de fenocristais de plagioclásio, por vezes acompanhados de piroxênio e minerais opacos.

LITOQUÍMICA Para o estudo litoquímico foram selecionadas amostras com os menores conteúdos de perda ao fogo e desprovidas de amígdalas e vesículas. As rochas vulcânicas da Península Fildes possuem baixos teores de MgO , Co, Ni e Cr (Tabela 1), típicos de magmas evoluídos. O Al_2O_3 , Rb, Ba, Sr apresentam concentrações elevadas acompanhadas de um empobrecimento relativo em elementos do tipo HFS (Fig. 2) e um leve enriquecimento em elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados (Fig.3), sendo estas características comuns em rochas de afinidade cálcio-alcálica geradas em ambientes orogênicos.

Um moderado enriquecimento em FeO^T é observado com a diferenciação, fato este normalmente correlacionado as rochas toleíticas. Entretanto a afinidade geoquímica não é claramente sugerida tanto no diagrama do tipo FeO^T/MgO versus SiO_2 (Fig.4A) como no AFM (Fig.4B), onde as amostras distribuem-se em diferentes campos. Estes padrões geoquímicos contrastantes determinaram diferentes interpretações para os vulcanitos da região, i) Hawkes (1961) classificou estas rochas como cálcio-alcálicas; ii) Smellie *et al.* (1984) afirmaram que os andesitos são cálcio-alcálicos e os termos básicos toleíticos; iii) Zheng *et al.* (1988) colocam estas rochas como pertencentes, basicamente, à série cálcio-alcálica, mas com algumas feições de toleitos de arco de ilhas.

Esta aparente ambigüidade nos *trend* do ferro em relação ao comportamento de alguns elementos maiores e traços das rochas vulcânicas da Península Fildes é também observada em outros arcos de ilhas,

como Aleutians (Marsh 1982) e Ilhas South Sandwich e Dominica-Antilhas Menores (Wilson 1989). A natureza toleítica em geral é atribuída ao fracionamento dos minerais sob condições de baixa $f\text{O}_2$, que impediria a cristalização de magnetita (Wilson 1989). A abundância relativa do ferro ferroso no magma combinar-se-ia com SiO_2 e outros elementos para formar fases silicatadas ricas em ferro. Sob condições mais oxidantes o fracionamento envolveria a cristalização precoce de magnetita, determinando um empobrecimento de ferro nos magmas básicos típicos da série cálcio-alcálica. Nos vulcanitos da Península Fildes os dados petrográficos e de geotermometria sugerem uma cristalização precoce para a magnetita e possivelmente em equilíbrio com clinopiroxênio-ortopiroxênio nos andesitos basálticos. Provavelmente esta fase não foi expressivamente fracionada permitindo um decréscimo mais suave nos conteúdos de ferro com a diferenciação. De acordo com Wilson (1989) pequenas variações na razão $a\text{O}_2/f\text{aH}_2\text{O}$ durante o fracionamento sob condições de baixa pressão explicariam *trends* como o da Península Fildes. Nestes casos o diagrama índice de alcalinidade (IA) versus Al_2O_3 (Wilson 1989) é mais apropriado para separar-se rochas básicas de afinidade toleítica de basaltos cálcio-alcálicos de alto alumínio (Fig. 5).

Tabela 1 - Teores para os elementos maiores (% peso), traço e terras raras (ppm) das rochas vulcânicas básicas e intermediárias da Península Fildes.

Amostra	AF-2A	AF-5	AF-12A	AF-12B	AF-14	AF-16B	AF-20	AF-22B	AF-16A	AF-21
SiO_2	51,44	50,34	48,62	51,13	50,19	48,41	49,15	53,22	52,64	52,14
TiO_2	0,93	0,45	0,74	0,45	0,84	0,85	0,83	0,88	0,71	0,85
Al_2O_3	16,75	20,56	21,98	18,23	19,89	21,43	21,13	17,18	20,64	17,96
FeO^T	8,79	7,59	8,29	7,17	9,64	6,33	9,35	8,22	7,96	10,05
MnO	0,14	0,12	0,14	0,11	0,18	0,11	0,12	0,14	0,14	0,18
MgO	4,98	6,15	3,34	6,77	4,31	2,65	3,04	4,68	4,25	3,73
CaO	8,41	10,9	10,06	12	9,97	13,83	10,07	8,35	10,39	7,79
Na ₂ O	2,95	2,16	2,93	0,75	3,31	1,75	3,12	3,18	1,84	3,58
K ₂ O	0,94	0,79	0,27	0,3	0,57	0,07	0,35	1,03	0,40	0,67
P_2O_5	0,14	0,09	0,11	0,09	0,13	0,15	0,13	0,14	0,12	0,15
P.F.	4,08	1,78	4,51	3,5	1,01	4,66	3,46	2,62	0,11	2,03
Total	99,55	100,93	100,99	100,83	100,04	100,70	100,75	99,64	99,53	99,13
Cr	72	105	59	n.d.	59	n.d.	54	123	n.d.	n.d.
Ni	38	n.d.	n.d.	n.d.	88	n.d.	n.d.	56	n.d.	n.d.
Co	27	33	24	29	31	28	29	28	n.d.	n.d.
Rb	18	11	5	19	5	2	3	18	7	11
Ba	201	155	109	n.d.	149	188	139	204	151	174
Sr	483	608	528	581	575	593	539	467	573	514
Nb	4	1	1	5	1	2	1	4	2	2
Zr	84	54	38	n.d.	44	94	50	97	92	64
Hf	2	1	1	5	1	2	1	n.d.	n.d.	n.d.
Y	14	10	11	n.d.	12	n.d.	14	15	n.d.	16
La	9,660	6,240	4,630	30,900	6,450	10,500	6,050	10,240	n.d.	7,690
Ce	21,080	13,880	10,270	66,850	14,000	23,000	13,110	21,980	n.d.	16,380
Pr	2,473	1,698	1,345	n.d.	1,820	n.d.	1,789	2,627	n.d.	2,318
Nd	12,070	8,760	7,400	37	9,680	16,000	8,870	13,980	n.d.	11,670
Sm	2,980	2,150	1,810	9,100	2,760	3,100	2,500	3,420	n.d.	2,960
Eu	0,883	0,632	0,738	2,380	0,921	1,180	0,900	1,073	n.d.	1,096
Gd	2,570	1,570	1,820	n.d.	2,360	n.d.	2,170	2,940	n.d.	2,640
Tb	0,450	0,270	0,350	1,100	0,390	n.d.	0,380	0,500	n.d.	0,460
Dy	2,910	1,860	2,060	n.d.	2,340	n.d.	2,560	2,800	n.d.	3,090
Ho	0,480	0,300	0,420	n.d.	0,450	n.d.	0,480	0,550	n.d.	0,590
Er	1,340	0,930	1,000	n.d.	1,270	n.d.	1,360	1,500	n.d.	1,640
Tm	0,190	0,142	0,150	n.d.	0,158	n.d.	0,177	0,211	n.d.	0,233
Yb	1,550	1,060	1,050	2,450	1,080	1,300	1,450	1,410	n.d.	1,590
Lu	0,251	0,155	0,244	0,380	0,200	0,240	0,233	0,272	n.d.	0,268

n.d. = não determinado

P.F. = perda ao fogo

Figura 2 - Diagrama multi-elementar das rochas básicas (A) e intermediárias (B) da Península Fildes normalizado pelo padrão do basalto de cordilheira meso-oceânica (MORB) de Pearce (1982).

Figura 3 - Padrões de elementos terras raras das rochas básicas (A) e intermediárias (B) da Península Fildes normalizados pelos valores condriticos de Nakamura (1974).

Figura 4 - (A) Diagrama de correlação SiO_2 versus FeO^T/MgO das rochas básicas e intermediárias da Península Fildes. (B) Distribuição da composição das rochas vulcânicas básicas e intermediárias da Península Fildes no diagrama $FeO^T-MgO - Na_2O+K_2O$.

Os resultados obtidos no presente trabalho confirmam que os vulcanitos da Península Fildes, no que se refere a elementos do tipo litófilos de grande raio iônico (LIL), HFS e terras raras leves (ETRL), além de Al_2O_3 , possuem uma afinidade cálcio-alcálica.

Testes de balanço de massa e com elementos-traço realizados por Machado *et al.* (1998) permitem explicar a origem das rochas intermediárias a partir da cristalização fracionada de olivina+clinopiroxênio+plagioclásio a partir de líquidos básicos evoluídos com alto-alumínio.

Os dados isotópicos obtidos em rochas básicas indicam razões iniciais de $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0,7033 a 0,7037 e de $^{143}Nd/^{144}Nd$ de 0,512959 e 0,512967. Os valores de ϵNd para $t = 55$ Ma (idade modelo) é de +6,52 e +6,72. Os resultados obtidos são semelhantes aos apresentados por Smellie *et al.* (1984), Li & Liu (1987) e Jin *et al.* (1991). A assinatura isotópica, a petrografia e os dados geoquímicos sugerem que as rochas foram geradas por um processo de cristalização fracionada, a partir da fusão parcial do manto litosférico em um ambiente de arco de ilhas.

QUÍMICA MINERAL A composição química e variações de cada fase mineral que compõe as rochas vulcânicas básicas e intermediárias da Península Fildes são aqui apresentadas e discutidas.

Plagioclásio Os estudos petrográficos permitiram separar o plagioclásio em três populações distintas sendo os resultados químicos apresentados nas tabelas 2 e 3. Esta fase foi separada em: i) fenocristais subédricos, tabulares e zonados; ii) fenocristais subédricos, tabulares e maclados, iii) e microcristais da matriz.;

i) nos basaltos os fenocristais de plagioclásio subédricos, tabulares e zonados apresentam uma zonação do tipo oscilatória normal, com variações decrescentes e representativas para os intervalos de An_{0-2} e de An_{84-72} em direção às bordas dos grãos. A presença de zoneamento oscilatório normal bem desenvolvido nos fenocristais de plagioclásio, é uma feição comum nas rochas eruptivas orogênicas (Ewart 1982). Nos andesitos basálticos, os conteúdos de anortita variam de 77%-74%. Os dados químicos obtidos para o plagioclásio tabular, maclado e zonado dos basaltos da Península Fildes, estão em concordância com os dados apresentados por

Figura 5- Diagrama de Índice de Alcalinidade $((Na_2O + K_2O/ SiO_2-43) \times 0,17)$ versus Al_2O_3 (% peso) para a classificação de basaltos toleíticos e cálcio-alcálicos de alto-alumínio.

Bailey *et al.* (1989) para os basaltos do arco de ilhas de Kurile (no-
roeste do Pacífico). Os fenocristais de plagioclásio dos basaltos de
Kurile apresentam uma variação semelhante no conteúdo de An em
relação aos basaltos da Península Fildes, geralmente An₇₀₋₉₄, com
a persistente ocorrência de núcleos cálcicos;

- ii) os fenocristais subédricos, tabulares e maclados são, principalmen-
te, do tipo bytownita-anortita (An₉₃₋₈₇), nos basaltos e An₇₈₋₈₂ nos
andesitos basálticos. Estes resultados estão de acordo com os estu-
dos de Ewart (1982), que demonstram a dominância da bytownita
nos basaltos baixo-K e cálcio-alcálicos. Os teores da molécula de
ortoclásio (Or) são baixos, atingindo em alguns casos 2%. Os con-
teúdos de FeO (<1%) e o MgO (<0,21%) são baixos nos basaltos,
sendo os valores mais elevados geralmente encontrados nos
feldspato da matriz. O FeO é um pouco mais elevado no
plagioclásio dos andesitos basálticos. O teor de Al₂O₃ varia de
34,86%-27,72% nos basaltos e de 32,82%-26,89% nos andesitos
basálticos. O alto conteúdo de anortita (An) detectado nos
fenocristais de plagioclásio dos basaltos são característicos de
basaltos de arcos de ilhas, sendo isto atribuído à P_{H₂O} relativamen-
te alta em magmas de arco (Arculus & Wills 1980);
- iii) os microcristais da matriz distinguem-se quimicamente dos
fenocristais, pelo conteúdo mais baixo de anortita, ocorrendo
plagioclásio do tipo labradorita (An₅₃₋₆₃) tanto nos basaltos como
andesitos basálticos.

Piroxênio O piroxênio é o mineral máfico dominante nas rochas
vulcânicas básicas e intermediárias da Península Fildes e os dados de
microfenocristais constam na Tabela 4. A alteração desta fase na ma-
triz impediu a obtenção de dados químicos para os microlitos.

**Tabela 2 - Composição química e fórmula estrutural de feldspatos das rochas
básicas da Península Fildes. MM = feldspato da matriz; STMZ = fenocristal
subédrico, tabular, maclado e zonado; STM = fenocristal subédrico, tabular
e maclado. c = núcleo do grão; b = borda de grão.**

Basaltos Tipo	AF-14 MM	AF-14(c) STMZ	AF-14(b) STMZ	AF-14(c) STMZ	AF-14 STM	AF-20(c) STMZ	AF-20(b) STMZ	AF-20(c) STMZ	AF-20 MM	AF-12A STM	AF-12A STM	AF-12A MM	AF-12A MM
SiO ₂	54,06	47,29	48,88	50,87	44,81	45,20	46,91	47,25	54,08	47,23	45,77	53,91	53,39
Al ₂ O ₃	27,72	33,21	31,49	30,64	34,71	34,86	32,86	32,86	27,84	33,61	35,12	28,87	29,20
FeO	1,55	0,86	0,95	1,06	0,53	0,57	0,59	0,71	1,33	0,62	0,55	0,96	1,07
MgO	0,21	0,05	0,11	0,11	0,07	0,01	0,08	0,05	0,10	0,07	0,05	0,14	0,14
CaO	11,06	16,71	15,65	14,13	18,72	18,66	17,47	17,00	11,52	17,70	18,84	12,26	12,53
Na ₂ O	4,45	1,68	2,25	3,02	0,75	0,86	1,38	1,64	4,22	1,44	0,72	4,03	4,00
K ₂ O	0,26	0,04	0,08	0,14	0,02	0,03	0,06	0,02	0,26	0,00	0,02	0,10	0,11
Total	99,12	99,85	99,30	99,96	100,18	100,15	99,54	99,34	100,70	101,07	100,28	100,44	100,44
Si ⁴⁺	9,89	8,71	9,02	9,30	8,32	8,34	8,63	8,73	9,88	8,64	8,37	9,75	9,66
Al ³⁺	5,97	7,21	6,84	6,59	7,59	7,59	7,29	7,16	5,99	7,25	7,56	6,15	6,22
Fe ²⁺	0,21	0,13	0,15	0,16	0,08	0,09	0,09	0,11	0,20	0,10	0,09	0,15	0,16
Mg ²⁺	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,04
Ca ²⁺	2,17	3,40	3,10	2,77	3,72	3,69	3,44	3,37	2,25	3,47	3,69	2,38	2,43
Na ⁺	1,58	0,60	0,81	1,07	0,27	0,31	0,49	0,59	1,50	0,51	0,26	1,41	1,40
K ⁺	0,06	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,06	0,00	0,01	0,02	0,03
Total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ab	41	15	21	28	7	8	13	15	39	13	7	37	36
An	57	84	79	72	93	92	87	85	59	87	93	62	63
Or	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	1

**Tabela 3 - Composição química e fórmula estrutural de feldspatos das rochas
intermediárias da Península Fildes. MM = feldspato da matriz; STMZ = fenocristal
subédrico, tabular, maclado e zonado; STM = fenocristal subédrico, tabular
e maclado; c = núcleo do grão; b = borda de grão.**

Andesitos Tipo	AF-21 STM	AF-21 STMZ	AF-21(c) STMZ	AF-21(b) STMZ	AF-21 STM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM	AF-21 MM
SiO ₂	49,00	48,57	49,34	50,19	53,64	53,61	55,74	53,90	54,28	48,25	48,25	48,25	48,25
Al ₂ O ₃	31,45	31,57	31,81	31,21	28,48	28,41	26,89	28,05	27,99	32,82	32,45	32,45	32,45
FeO	1,02	0,97	0,87	0,91	1,14	1,35	1,39	1,52	1,18	0,70	0,75	0,75	0,75
MgO	0,06	0,06	0,06	0,08	0,16	0,16	0,35	0,18	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
CaO	15,53	15,73	15,31	14,62	11,96	11,75	10,13	11,57	11,93	16,44	16,22	16,22	16,22
Na ₂ O	2,33	2,18	2,43	2,77	4,20	4,21	4,86	4,18	4,24	1,92	1,96	1,96	1,96
K ₂ O	0,09	0,11	0,08	0,12	0,16	0,13	0,17	0,24	0,24	0,03	0,03	0,03	0,03
Total	99,48	99,17	99,89	99,91	99,75	99,62	99,53	99,64	99,94	100,24	99,72	99,72	99,72
Si ⁴⁺	9,04	8,99	9,05	9,18	9,76	9,77	10,11	9,83	9,86	8,84	8,88	8,88	8,88
Al ³⁺	6,83	6,88	6,87	6,73	6,10	6,10	5,75	6,02	5,99	7,08	7,03	7,03	7,03
Fe ²⁺	0,16	0,15	0,13	0,14	0,17	0,21	0,21	0,23	0,18	0,11	0,12	0,12	0,12
Mg ²⁺	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,10	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ca ²⁺	3,07	3,12	3,01	2,87	2,33	2,30	1,97	2,26	2,32	3,23	3,20	3,20	3,20
Na ⁺	0,83	0,78	0,86	0,98	1,48	1,49	1,71	1,48	1,49	0,68	0,70	0,70	0,70
K ⁺	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,06	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Ab	21	20	22	25	39	39	46	39	39	17	18	18	18
An	78	79	77	74	61	60	53	60	60	82	82	82	82
Or	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0

A composição química dos microfenocristais de clinopiroxênio
(Fig. 6) enquadra-se no campo QUAD, que agrupa os piroxênios Ca-
Mg-Fe (Morimoto 1988). Esta classificação indica o elevado conteú-
do de Ca+Mg+Fe+2(Q) e a baixa quantidade de 2Na(J).

Os microfenocristais de clinopiroxênio das rochas básicas possuem
uma composição de Wo₂₄₋₃₇; En₄₄₋₅₀; Fs₁₉₋₂₆. Nos andesitos basálticos
os microfenocristais possuem uma composição em torno de Wo₃₈;
En₄₅; Fs₁₇, semelhante à dos basaltos. De acordo com Ewart (1982) a
augita é o piroxênio cálcico dominante em basaltos de baixo-K e cálcio-
alcálicos, diferentemente das associações de alto potássio onde
geralmente ocorrem salita-diopsídio.

A pigeonita possui composição entre Wo₁₀₋₁₅; En₅₂₋₆₇; Fs₂₃₋₃₃ e re-
stringe-se à matriz dos basaltos. O teor médio de Al₂O₃ na augita é de
2% e na pigeonita em torno da unidade, indicando condições de cris-
talização sob baixa pressão.

No andesito basáltico AF-21 (Tabela 4) identifica-se bronzita (Wo₃;
En₇₀; Fs₆₋₂₇). Neste ortopiroxênio, a concentração máxima de CaO
determinada foi de 1,83% aliado a um conteúdo de MgO de 25,69% e
de Al₂O₃ de 1,34%.

Olivina A olivina está parcial ou totalmente alterada para carbona-
to, bouldingita e iddingsita, ocorrendo fenocristais de olivina com por-
ções inalteradas em apenas uma amostra de diabásio (AF-12B) inter-

**Tabela 4 - Composição química e fórmula estrutural (6 oxigênios) de
piroxênio dos basaltos e andesitos basálticos da Península Fildes.**

Litologia	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	BAS	AND	AND	AND	AND
Amostra	AF-12A	AF-12A	AF-14	AF-14	AF-5	AF-20	AF-20	BAS AF-21	BAS AF-21	BAS AF-21	BAS AF-21
SiO ₂	53,42	52,64	51,47	50,85	54,96	51,68	52,25	53,63	54,46	52,42	51,98
TiO ₂	0,47	0,49	0,56	0,74	0,18	0,58	0,32	0,25	0,24	0,39	0,39
Al ₂ O ₃	1,35	2,44	2,17	2,57	1,36	1,86	0,98	2,30	1,34	2,25	2,61
FeO	15,77	14,27	10,92	11,98	14,18	10,80	16,42	16,46	16,48	9,87	8,67
Fe ₂ O ₃	n.d.	0,29	0,67	1,11	n.d.	0,80	3,69	n.d.	n.d.	n.d.	1,59
Cr ₂ O ₃	0,09	0,01	0,05	0,09	n.d.	0,03	n.d.	n.d.	0,03	0,03	0,01
MnO	0,65	0,52	0,34	0,39	0,53	0,40	0,55	0,48	0,50	0,32	0,34
MgO	17,74	16,22	15,20	15,06	24,55	15,45	17,99	24,99	25,69	15,71	15,76
CaO	11,77	14,25	17,44	16,45	5,11	17,47	7,00	1,74	1,83	18,16	18,57
Na ₂ O	0,16	0,26	0,28	0,25	0,08	0,26	1,01	0,05	0,01	0,29	0,33
K ₂ O	n.d.	0,07	0,02	n.d.	0,01	n.d.	0,02	n.d.	n.d.	0,01	0,03
Total	101,31	101,45	99,12	99,41	100,95	99,34	100,24	99,92	100,57	99,44	100,26
Tai	1,97	1,94	1,937	1,915	1,977	1,94	1,955	1,952	1,967	1,933	1,922
TSI	0,03	0,06	0,063	0,085	0,023	0,06	0,043	0,048	0,033	0,047	0,078
TFe ³⁺	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MIAI	0,029	0,046	0,033	0,029	0,034	0,022	n.d.	0,051	0,024	0,052	0,036
MII ²⁺	0,013	0,014	0,016	0,021	0,005	0,017	0,009	0,007	0,006	0,011	0,011
MII ²⁺	n.d.	0,008	0,019	0,031	n.d.	0,023	0,102	n.d.	n.d.	n.d.	0,014
MII ²⁺	n.d.	0,041	0,079	0,072	n.d.	0,073	n.d.	n.d.	n.d.	0,064	0,04
MII ²⁺	n.d.	n.d.	0,002	n.d.	n.d.	0,001	n.d.	n.d.	0,001	0,001	n.d.
MII ²⁺	0,958	0,991	0,852	0,846	0,961	0,865	0,889	0,942	0,968	0,872	0,869
MII ²⁺	0,018	n.d.	n.d.	n.d.	0,355	n.d.	0,114	0,413	0,415	n.d.	n.d.
MII ²⁺	0,486	0,399	0,265	0,305	0,426	0,266	0,514	0,501	0,498	0,244	0,229
MII ²⁺	0,02	0,016	0,011	0,012	0,016	0,013	0,017	0,015	0,015	0,01	0,011
MII ²⁺	0,465	0,563	0,703	0,664	0,197	0,703	0,281	0,068	0,071	0,725	0,736
MII ²⁺	0,011	0,019	0,021	0,018	0,005	0,019	0,073	0,003	0,001	0,021	0,024
MII ²⁺	n.d.	0,003	0,001	n.d.	0,001	n.d.	0,001	n.d.	n.d.	n.d.	0,001
MII ²⁺	n.d.	0,003	0,001	n.d.	0,001	n.d.	0,001	n.d.	n.d.	n.d.	0,001
Cations	4	3,997	3,999	4	3,999	4	3,999	4	4	4	3,999
Wo	24	29	37	34	10	36	15	3	4	38	38
En	50	47	44	44	67	45	52	70	70	45	45
Fs	26	24	19	22	23	19	33	27	26	17	17

n.d. = não determinado

pretada como cogenético ao vulcanitos estudados (Tabela 5).

A olivina é do tipo crisolita com teor de Fo de 79 a 81%. Ewart
(1982) conclui que basaltos de baixo-K e cálcio-alcálicos contêm, pre-
ferencialmente, olivina rica em magnésio, com intervalo de Fo entre
70-85%. Bailey *et al.* (1989) encontraram fenocristais de olivina em
todas as amostras de basaltos de Kurile, com conteúdo de Fo no inter-
valo de 65 até 93%, sendo que a olivina é menos comum nos andesitos
basálticos. O conteúdo de CaO encontra-se no intervalo de 0,23 a
0,27%. Os teores de NiO e Cr₂O₃ são baixos e o MnO apresenta con-
centrações da ordem de 0,25 a 0,33%.

Óxidos Os minerais denominados óxidos limitam-se às fases per-
tencentes ao sistema FeO-Fe₂O₃-TiO₂, e os resultados estão represen-
tadas na Tabela 6.

O teor de TiO₂ da magnetita nos basaltos e andesito basáltico (AF-
21) varia de 5,64 a 8,88 %. Os conteúdos de Cr₂O₃ e MnO para as
fases óxidos são bastante baixos (<<1%). O conteúdo de MgO em
geral é de 2,5%, comum em magnetita cristalizada em alta temperatura.
A concentração de ulvoespínio (ULV) na magnetita varia de 16% a
25%.

Figura 6 - Classificação química do piroxênio (Morimoto 1988) das rochas básicas e intermediárias da Península Fildes.

Tabela 5 - Composição química e fórmula estrutural (4 oxigênios) de olivina de um diabásio da Península Fildes.

Amostra	AF-12B	AF-12B	AF-12B	AF-12B	AF-12B
SiO ₂	39,50	39,82	39,41	39,77	39,38
TiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	0,02	n.d.
Al ₂ O ₃	0,05	0,04	0,05	0,07	0,08
FeO	17,93	18,30	17,52	17,79	19,05
MnO	0,29	0,30	0,25	0,26	0,32
MgO	41,94	41,85	41,59	41,77	41,33
CaO	0,24	0,26	0,26	0,27	0,23
NiO	0,07	0,01	n.d.	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02	n.d.	0,01	n.d.	0,01
Total	100,04	100,58	99,09	99,98	100,42
Si	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00
Ti	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Al	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe ²⁺	0,38	0,39	0,38	0,38	0,41
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	1,59	1,59	1,59	1,58	1,57
Ca	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cations	3,00	3,02	3,01	3,00	3,01
Fa	19,00	20,00	19,00	19,00	21,00
Fo	81,00	80,00	81,00	81,00	79,00

n.d. = não detectado

Tabela 6 - Composição química e fórmula estrutural (23 oxigênios) de minerais opacos das rochas básicas e intermediária da Península Fildes.

Amostra	AF-19	AF 14	AF-14	AF-21	AF-21
SiO ₂	0,11	0,12	0,14	0,13	0,09
TiO ₂	6,74	8,88	7,33	6,83	5,64
Al ₂ O ₃	5,99	4,39	5,53	4,68	2,82
FeO	32,22	35,52	34,47	32,29	34,46
Fe ₂ O ₃	50,26	47,14	47,90	50,46	53,83
MnO	0,27	0,30	0,32	0,32	0,27
MgO	3,67	2,53	2,21	3,23	0,94
NiO	0,01	0,01	n.d.	0,01	n.d.
Cr ₂ O ₃	0,15	0,15	0,19	0,18	0,12
Total	99,42	99,04	98,09	98,13	98,17
Si	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03
Ti	1,47	1,97	1,64	1,52	1,29
Al	2,04	1,52	1,93	1,63	1,01
Fe ²⁺	7,80	8,76	8,56	8	8,78
Fe ³⁺	10,95	10,46	10,70	11,24	12,34
Mn	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07
Mg	1,58	1,11	0,98	1,43	0,43
Ni	0,01	0,01	n.d.	0,01	n.d.
Cr	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Total	23,98	23,98	23,98	23,98	23,98
UVL	18,00	25,00	21,00	19,00	16,00

n.d. = não detectado

tada, posteriormente, duas análises de magnetita. Dada a pequena variação composicional destas fases os resultados obtidos foram muito semelhantes.

O piroxênio e magnetita escolhidos constituem microfenocristais, razão pela qual fixou-se a pressão de 1 até 1500 bar com intervalos de 500 bar, conforme sugestão de Frost & Lindley (1992). Inicialmente utilizou-se dois pares de clinopiroxênio-ortopiroxênio com as composições fixadas, obtendo-se as temperaturas 1065°C ± 26°C (1 bar), 1067°C ± 25°C (500 bar), 1069°C ± 25°C (1000 bar) e 1071°C ± 24°C (1500 bar). O baixo grau de incerteza sugere que o ortopiroxênio e a augita permaneceram próximo ao equilíbrio no andesito basáltico. Num segundo teste realizado permitiu-se a variação composicional da augita, dentro dos mesmos intervalos de pressão. As temperaturas de equilíbrio obtidas foram de 1062°C (1 bar), 1067°C (1000 bar) e 1069°C (1500 bar). A variação composicional calculada para a augita ficou muito próxima da analisada e o grau de incerteza igual a zero. Posteriormente adicionou-se à rotina do programa, a composição da magnetita do andesito basáltico, mantendo-se as mesmas variações de pressão. Inicialmente fixou-se a composição das três fases (ortopiroxênio + augita + espinélio) obtendo-se valores de temperaturas de 1072°C ± 15°C (1 bar), 1074°C ± 15°C (500 bar), 1076°C ± 14°C (1000 bar) e 1078°C ± 14°C (1500 bar). Admitindo-se uma variação composicional para augita e para o número de magnésio do espinélio (3 cátions/ 4 oxigênios) o teste indicou uma temperatura de 1062°C (1 bar), 1065°C (500 bar), 1067°C (1000 bar) e 1069°C (1500 bar) para um grau de incerteza igual a zero. Constatou-se uma pequena variação entre os conteúdos da molécula de En e Wo analisados e calculados. O resultado sugere condições de equilíbrio do espinélio com os dois piroxênios no andesito basáltico AF-21 dentro do intervalo de temperatura de 1065°C-1070°C para pressões da ordem de 1 bar a 1500 bar (Tab. 7). As temperaturas calculadas estão próximas as obtidas para andesitos por outros autores (Wilcox 1954 - Paracutin - 55% SiO₂ - 1070°C-1110°C - medidas de campo; Marsh & Carmichael 1974 - Lassen, USA - 55% SiO₂ - 1000°C - geotermometria com óxidos de Fe-Ti; Ewart 1976 - Tonga - 53%-55% SiO₂ - 1050°C - 1080°C - geotermometria com clinopiroxênio-ortopiroxênio; Luhr &

GEOTERMOMETRIA Para determinar a temperatura de cristalização do par clinopiroxênio-ortopiroxênio (±magnetita) do andesito basáltico AF-21 da Península Fildes utilizou-se o programa de Frost & Lindley (1992), denominado Ca-QUILF (Piroxênio cálcico-Quartzo-Ulvoespinélio-Ilmenita-Fayalita). Conforme recomendação dos autores foram considerados os seguintes aspectos na escolha das análises: a) os pares de piroxênio considerados em equilíbrio não apresentaram feições petrográficas de reação, reabsorção nem zoneamento; b) o equilíbrio aparentemente foi mantido após a cristalização, não sendo evidenciadas feições de exsolução; c) as análises obtidas estão dentro dos limites de incerteza da composição do piroxênio, especialmente do conteúdo de Fe³⁺. Foram testados dois pares de piroxênio e acrescen-

Tabela 7 - Sumário dos dados selecionados (andesito basáltico AF-21)

Composição da augita variando					Composição fixa da augita				
A	B	C	Clinopiroxênio analisado	Clinopiroxênio calculado	A	B	C	Clinopiroxênio analisado	
1	1035	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46814 XWo 0,37606 XF _s 0,15580 XFe 0,24970	1	1038	26	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	
500	1038	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46819 XWo 0,37556 XF _s 0,15625 XFe 0,25022	500	1340	25	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	
1000	1340	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46824 XWo 0,37506 XF _s 0,15670 XFe 0,25074	1000	1342	25	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	
1500	1342	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46828 XWo 0,37457 XF _s 0,15714 XFe 0,25126	1500	1344	24	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	

A - Pressão (bar)
B – Temperatura (°C)
C – Grau de incerteza (°C)

Augita
XEn En/(En+Wo+Fs)
XWo Wo/(En+Wo+Fs)
XF_s Fs/(En+Wo+Fs)

Composição fixa do ortopiroxênio
XEn= 0,69898
XWo= 0,03496

Magnetita
NTi= n° de átomos de Ti (3 cátions/4 O)
NMg= n° de átomos de Mg (3 cátions/4 O)
NMn= n° de átomos de Mn (3 cátions/4 O)

Variando NMg do espinélio					Variando NMg do espinélio e a composição da augita						
A	B	C	Clinopiroxênio analisado	Espinélio analisado	A	B	C	Clinopiroxênio analisado	Clinopiroxênio calculado	Espinélio analisado	Espinélio calculado
1	1345	15	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	1	1335	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46814 XWo 0,37606 XF _s 0,15580 XFe 0,24970	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	NTi 0,19130 NMg 0,16802 NMn 0,0055
500	1347	15	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	500	1338	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46819 XWo 0,37556 XF _s 0,15625 XFe 0,25022	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	NTi 0,19130 NMg 0,16785 NMn 0,0055
1000	1349	14	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	1000	1340	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46824 XWo 0,37506 XF _s 0,15670 XFe 0,25074	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	NTi 0,19130 NMg 0,16768 NMn 0,0055
1500	1351	14	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	1500	1342	0	XEn 0,45558 XWo 0,37854 XF _s XFe	XEn 0,46828 XWo 0,37457 XF _s 0,15714 XFe 0,25126	NTi 0,19130 NMg 0,1638 NMn 0,0055	NTi 0,19130 NMg 0,16752 NMn 0,0055

Carmichael 1980 – Colima - 56% SiO₂ – 1030°C – 1140°C - isótopos de oxigênio).

CONCLUSÕES Nos diagramas convencionais utilizados para separar rochas toleíticas e cálcio-alcalinas as rochas vulcânicas da Península Fildes bordejam a linha que delimita estas séries. No entanto, a concentração elevada de Al₂O₃, Rb, Ba, Sr e o leve enriquecimento em ETRL em relação aos elementos terras raras pesados (ETRP) atesta a natureza cálcio-alcalina dos vulcanitos da península. Esta afinidade é melhor ilustrada no diagrama IA (índice de alcalinidade) *versus* Al₂O₃.

Os conteúdos de Ni, Cr, Co e MgO das rochas básicas da Península Fildes são inferiores àqueles encontrados em composições básicas primárias e atestam a condição evoluída destas magmas.

As razões iniciais de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de 0,7033 a 0,7037, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd de 0,512959 e 0,512967 e os valores de εNd (para t = 55 Ma) de + 6,52 e + 6,72 sugerem que as rochas foram geradas a partir da fusão parcial do manto litosférico sem a interferência de outros fatores petrogenéticos.

A química mineral dos basaltos indica uma associação de fenocristais de plagioclásio rico em cálcio (bytownita-anortita) + augita ± olivina + magnetita. A composição rica em cálcio dos fenocristais de plagioclásio, com zoneamento oscilatório normal, é típica das séries de baixo-K e cálcio-alcalina. Na matriz, o plagioclásio é composicionalmente do tipo labradorita. A augita é o clinopiroxênio mais abundante e a pigeonita é rara, restringindo-se a matriz dos basaltos. Fenocristais

de bronzita são observados apenas nos andesitos basálticos. A olivina é do tipo crisolita com teor de Fo variando de 79 a 81%, composição esta comum em associações básicas de baixo-K e cálcio-alcalina. A fase óxido determinada é magnetita com conteúdo de TiO₂ dentro do intervalo 5,64 a 8,88.

Dados de química mineral do par clinopiroxênio-ortopiroxênio (±magnetita) do andesito basáltico (AF-21), utilizados no programa Ca-QUILF, sugerem uma temperatura de cristalização e um equilíbrio destas fases dentro do intervalo de 1065°C-1070°C para pressões da ordem de 1 bar a 1500 bar. Apesar do número reduzido de dados pode-se considerar que os valores encontrados são coerentes com as temperaturas determinadas para sistemas andesíticos basálticos.

A condição de equilíbrio do par clinopiroxênio-ortopiroxênio (±magnetita), aliada à composição cálcica do plagioclásio, é coerente com a hipótese originalmente postulada de cristalização fracionada para a evolução dos vulcanitos da Península Fildes. A investigação dos dados de química mineral, litoquímica e isotópicos mostra que os mesmos são também coerentes com esta hipótese, não sendo encontradas evidências que sugerissem a interferência de outros fatores petrogenéticos, como mistura de magma e/ou assimilação, para explicar a origem e evolução destas rochas.

Agradecimentos Ao CNPq (proc.142181/97 e 520036/96-4), pelo apoio financeiro, ao PROANTAR e a SECIRM pelo apoio logístico, ao Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica-IG-UFRGS e ao PRONEX pelas facilidades de infra-estrutura. Os autores agradecem aos revisores da RBG pelas críticas e sugestões.

Referências

- Arculus R.J. & Wills K.J.A. 1980. The petrology of plutonic blocks and inclusions from Lesser Antilles Arc. *J. Petrol.*, **21**:743-799.
- Bailey J.C., Frowla T.I., Burikova I.A. 1989. Mineralogy, geochemistry and petrogenesis of Kurile Island-Arc Basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **102**:265-280.
- Baker P.E. 1982. Evolution and classification of orogenic volcanic rocks. In R.S. Thorpe (ed.) *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, J. Wiley, 11-23.
- Barker P.F. 1970. Magnetic lineations in the Scotia Sea. In R.J. Adie (ed.) *Antarctic Geology and Geophysics*. Oslo, Universitetsforlaget, 17-26.
- Barker P.F. & Griffiths D.H. 1972. The evolution of the Scotia Ridge and Scotia Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, **271**(Series A):151-183.
- Ewart A. 1976. A petrological study of the younger Tonga andesites and dacites, and the olivine tholeiites of Niua Fo'ou Island, S.W. Pacific. *Contrib. Mineral. Petrol.* **58**:1-21.
- Ewart A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. In R.S. Thorpe (ed.) *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, J. Wiley, 25-87.
- Figueiredo A.M.G. & 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. *Geoch. Bras.*, **3**(1):1-8.
- Frost B.R. & Lindsey D.H. 1992. Equilibria among Fe-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz: Part II. Application. *Am. Mineral.* **77**:1004-1020.
- 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.
- Irvine T.N. & Baragar W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, **8**:523-48.
- Jin Q., Kuang F., Ruan H., Xing G. 1991. Island arc volcanism and magmatic evolution in Fildes peninsula, King George Island, Antarctica. In: Abstracts Sixth International Symposium on Antarctic Earth Sciences. National Institute of Polar Research, *Resumos Expandidos*, 250-255.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.* **25**:745-750.
- Lindsey D.H. & Frost B.R. 1992. Equilibria among Fe-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz: Part I. Theory. *Am. Mineral.*, **77**:987-1003.
- Luhr J.F. & Carmichael I.S.E. 1980. The Colima volcanic complex, Mexico. *Contrib. Mineral. Petrol.* **71**:343-372.
- Machado A., Chemale Jr. F., Lima E.F., Figueiredo A.M.G. 1998. Petrologia das Rochas Vulcânicas da Península Fildes, Ilha Rei George, Antártica. *Pesquisas*, **25** (1):35-42.
- Marsh B.D. 1982. The Aleutians. In R.S. Thorpe (ed.) *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, J. Wiley, 99-114.
- Marsh B.D. & Carmichael I.S.E. 1974. Benioff zone magmatism. *J. Geophys. Res.* **79**:1196-1206.
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rocks in island arcs and active continental margins. *Am. Jour. Sci.*, **274**:321-355.
- Morimoto N.C. 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Am. Mineral.*, **73**(9-10):1123-1133.
- Myers J.D., Marsh B.D., Sinha A.K. 1986. Geochemical and strontium isotopic characteristics of parental Aleutian Arc Magmas: evidence from the basaltic lavas of Atka. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **94**:1-11.
- Nakamura N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **38**:757-775.
- Pearce J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In R.S. Thorpe (ed.) *Andesites: orogenic andesites and related rocks*. London, J. Wiley, 525-548.
- Smellie J.L., Pankhurst R., Thomson M.R.A., Davies R. 1984. The geology of the South Shetland Islands: stratigraphy, geochemistry and evolution. *British Antarctic Survey Scientific Reports*, **87**: 84 p.
- Thompson R.N. et al. 1983. Continental flood basalts: arachnids rule ok? In C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (eds.) *Continental basalts and mantle xenoliths*. Nantwich, Shiva, 158-185.
- Tyrril G.W. 1945. Report on rocks from West Antarctica and the Scotia Arc. *Discovery Reports*, **23**:37-102.
- Wilcox R.E. 1954. Petrology of Paracutin Volcano, Mexico. *US Geol. Surv. Bull.* **965**:C:182p.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 466p.
- Zheng X., Liu X., Yang R. 1988. The petrological characteristics of Tertiary volcanic rocks near the Chinese Great Wall Station, West Antarctica. *Acta Petrologica Sinica*, **1**:34-47.

Manuscrito A-1195

Recebido em 02 de dezembro de 2000
 Revisão dos autores em 03 de julho de 2001
 Revisão aceita em 10 de julho de 2001