



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOQUÍMICA DA ILHA DO
CABO FRIO, ARRAIAL DO CABO, RJ**

Felipe Martins de Oliveira

Trabalho Final de Curso

Geologia

**UFRJ
RIO DE JANEIRO
MARÇO/2016**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E GEOQUÍMICA DA ILHA DO CABO FRIO,
ARRAIAL DO CABO, RJ**

Felipe Martins de Oliveira

TRABALHO FINAL DE CURSO APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE GEÓLOGO.

ORIENTADORA: _____

Prof^a Dr^a Kátia Leite Mansur (UFRJ)

CO-ORIENTADORA: _____

Prof^a Dr^a Eliane Guedes (Museu Nacional)

APROVADO POR: _____

Prof^a Dr. Ciro Alexandre Ávila (Museu Nacional)

Com. Dr. Davi Canabarro Savi (IEAPM-RJ)

**UFRJ
RIO DE JANEIRO
MARÇO/2016**

CIP - Catalogação na Publicação

OO48m	<p>Oliveira, Felipe Martins de Mapeamento geológico e geoquímica da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ. / Felipe Martins de Oliveira. -- Rio de Janeiro, 2016. 82 f. Orientadora: Kátia Leite Mansur. Coorientadora: Eliane Guedes. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Bacharel em Geologia, 2016.</p> <p>1. Rochas Alcalinas. 2. Mapeamento Geológico. 3. Geoquímica. 4. Ilha do Cabo Frio. I. Leite Mansur, Kátia, orient. II. Guedes, Eliane, coorient. III. Título.</p>
-------	---

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Agradecimentos

Dedico este trabalho à Prof^a Eliane Guedes, que me acolheu no Museu Nacional de braços abertos e com um sorriso enorme. Ela que sempre me orientou com enorme boa vontade, carinho e atenção. Sempre disposta a fazer mais pelo trabalho e me incentivando a prosseguir. Espero que este trabalho esteja à altura das suas expectativas.

Agradeço ao Prof^o Ciro Ávila pela indicação à bolsa de iniciação científica que deu origem a este trabalho. Por ter depositado em mim a confiança para realizar o projeto e por todos os conselhos dados durante o seu desenvolvimento.

À Prof^a Kátia Leite Mansur por ter aceitado orientar este trabalho e por suas opiniões a cerca do manuscrito, do mapa e pelo convite a uma viagem de campo com sua turma da disciplina de Geoconservação.

À Prof^a Vera Maria Medina da Fonseca, responsável pela primeira bolsa de iniciação científica e que dividiu a vigência com a Prof^a Eliane Guedes. Seus conselhos durante minha estadia no Setor de Paleoinvertebrados ajudaram a ter maturidade para a pesquisa científica.

Ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) por todo o suporte logístico na Ilha do Cabo Frio, pelo respeito e boa vontade de ajudar a equipe durante os trabalhos de campo, em especial ao Com. Davi Canabarro Savi e à Ten. Yaci Alvarez que sempre demonstraram uma atenção carinhosa em nos receber e nos ajudar com a logística para a travessia entre Arraial do Cabo e a Ilha.

A Mônica e Fábio, responsáveis pelo barco de turismo Califórnia Tour, que nos ajudaram a fazer o percurso até a Ilha nos primeiros trabalhos de campo.

A José Emiraldo Barbosa, pela excelente confecção das lâminas petrográficas no Museu Nacional.

A Débora Barros Nascimento e Tarcísio Raymundo de Abreu pelo auxílio durante a preparação das amostras de geoquímica.

A José Arthur Pessôa Corrêa, Sara Nunes Soares, Patrícia Quadros e Ivan Bellan pela ajuda durante as fases de campo em Arraial do Cabo.

A Carla Medeiros Solidade dos Santos, que me acompanhou durante o início da minha vida acadêmica e me ajudou a crescer como pesquisador no Setor de Paleoinvertebrados do Museu Nacional.

A Áquila Ferreira Mesquita, pelos conselhos de como conduzir a monografia e de como fazer bons mapas. Obrigado pela amizade de todo dia, mesmo que à distância.

A minha família pelo apoio incondicional durante minha trajetória na faculdade, por todo o carinho ao longo da vida e sempre me incentivando a seguir em frente pelas minhas próprias escolhas.

Agradeço aos meus amigos Ana Cristina de Jesus, Caroline Ribeiro, Cheyenne Campos, Felipe Pereira, Kathelyn Nunes, Mariana La Pasta, Rafael Fragoso, Tatiane Prado, Thelson Julius e Verônica Batista por terem se tornado pessoas fundamentais na minha vida, cujo carinho me motivou a prosseguir na Geologia e a confiar nas minhas decisões e na minha capacidade.

A Patrícia Alves Abreu, grande amiga desde o início da minha carreira na Geologia, que me incentivou a chegar onde estou, sempre com conselhos sábios e sensatos. Cujos companheirismo sempre se mostrou essencial e presente nos momentos mais importantes que tive desde então.

Resumo

A Ilha do Cabo Frio é uma feição geomorfológica constituída por rochas alcalinas cenozoicas encaixadas em embasamento Paleoproterozoico. Essa associação ígnea representa a última manifestação do Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio, cuja gênese é interpretada como a passagem da Placa Sulamericana por sobre um *hotspot*. O embasamento paleoproterozoico é formado por ortogneisses do Complexo Região dos Lagos, que foi amalgamado à margem do Cráton São Francisco durante a Orogenia Búzios entre o final do Neoproterozoico e início do Cambriano, formando posteriormente o Alto de Cabo Frio, que divide as bacias de Campos e Santos. Visando à descrição petrográfica, detalhamento da geologia e interpretação dos processos magmáticos, foi realizado mapeamento geológico em escala 1:5.000, cujas informações foram plotadas em um mapa de escala 1:20.000, descrição de lâminas petrográficas e análise litogeoquímica de elementos maiores, traços e terras raras. A Ilha do Cabo Frio é constituída predominantemente por nefelina sienito, álcali-feldspato sienito, sienito e monzonito, intrudidos por diques de traquito e fonolito, justapostos a um corpo de brecha vulcânica. O nefelina sienito é composto por albita, nefelina, aegirina-augita, opacos, titanita e apatita. O álcali-feldspato sienito é formado majoritariamente por álcali-feldspato, com clinopiroxênio e biotita subordinados. O sienito possui álcali-feldspato e plagioclásio como minerais essenciais, com clinopiroxênio e biotita como fases máficas e apatita, opacos e titanita como os demais acessórios. O monzonito é mineralogicamente semelhante a ele, porém sua textura é porfirítica, dada por fenocristais aciculares de clinopiroxênio, ao contrário do sienito, que é equigranular hipidiomórfica. Tanto o sienito quanto o nefelina sienito apresentam xenólitos de gabro com textura de reação entre anfibólio e plagioclásio propiciada pela passagem de um fluido hidrotermal. Os diques de traquito e fonolito são corpos subvulcânicos orientados na direção NE-SW que intrudem o embasamento e os corpos alcalinos plutônicos. O fonolito possui textura porfirítica, apresentando fenocristais de nefelina, álcali-feldspato, aegirina-augita e titanita. O traquito é formado por álcali-feldspato em textura traquítica e plagioclásio, com minerais opacos como acessórios. A brecha vulcânica é uma rocha clastossuportada formada por litoclastos angulosos de traquito, fonolito e ortogneisse imersos em matriz contendo sericita e minerais opacos. O embasamento é composto por ortogneisse com bandamento gnaissico de atitude geral NNW-SSE mergulhando em médio ângulo. Sua estrutura metamórfica é caracterizada pela intercalação de bandas quartzo-feldspáticas com bandas máficas compostas por piroxênio, anfibólio e plagioclásio. No ortogneisse foram identificadas famílias de fraturas

com orientações NE-SW, NW-SE, N-S e E-W. Estas orientações, medidas no Pontal do Atalaia, foram correlacionadas por estereogramas com as medidas das intrusões subvulcânicas, revelando haver uma relação direta entre elas, concluindo que houve controle estrutural regional para a colocação desses corpos. A litogeoquímica definiu as rochas da Ilha como pertencentes à série alcalina miaskítica potássica, agrupadas em três séries evolutivas diferentes. Elas são distintas a partir da assembleia fracionante, uma representada por nefelina e álcali-feldspato, a segunda por plagioclásio e minerais máficos e, a terceira, por minerais máficos, principalmente. A análise de diagramas multielementares de elementos traços e ETR permitiu avaliar a cogeneticidade destas rochas com o Alinhamento Magmático, inferindo-se também, a transição de rochas insaturadas para saturadas em sílica a partir da assimilação de um magma com composição rica em ETRs intermediários.

Índice de figuras

- Figura 1 Localização do Município de Arraial do Cabo na Região dos Lagos, a sudeste do estado do Rio de Janeiro. Fonte da imagem de satélite: Google Earth..... 2
- Figura 2 Trajeto de melhor acesso do Rio de Janeiro a Arraial do Cabo, localizada a 164 Km para leste da capital. O caminho percorre a BR-101 até a entrada para a Via Lagos, próximo a Rio Bonito. Esta estrada vai até São Pedro da Aldeia e, a partir deste município, continua-se em direção a Cabo Frio, seguindo a saída para Arraial do Cabo. Fonte: Google Maps 3
- Figura 3 Mapa tectônico do setor central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília (Heilbron *et al.*, 2004). 1- Riftes e coberturas cenozoicos; 2 – Rochas alcalinas do Cretáceo e Paleógeno; 3 - Nappes inferiores; 4 - Nappes superiores; 5 - Embasamento do Cráton São Francisco e Domínio Autóctone; 6 - Supergrupo São Francisco; 7 - Metassedimentos do Domínio Autóctone; 8 – Domínio Andrelândia; 9 - Domínio Juiz de Fora; 10 - Klippe Paraíba do Sul; 11 - Terreno Oriental; 12 - Granitoides do Arco Magmático Rio Negro; 13 - Terreno Cabo Frio; 14 – Terrenos São Roque e Açungui; 15 - Terreno Embu. 7
- Figura 4 Mapa da localização dos maciços alcalinos do Alinhamento Magmático Poços de Caldas - Cabo Frio no sudeste do Brasil. Adaptado de Almeida (1986). 9
- Figura 5 Idades radiométricas por K/Ar das rochas alcalinas do Alinhamento Magmático Poços de Caldas - Cabo Frio. Os valores são a média das idades obtidas a partir de diversas amostras consideradas representativas do principal evento magmático. (Adaptado de Thomaz Filho *et al.*, 2005; Ribeiro Filho & Cordani, 1966; Amaral *et al.*, 1967; Cordani, 1970; Sonoki & Garda, 1987). 10
- Figura 6 Fenda de Nossa Senhora vista da Enseada dos Anjos. Abertura apresenta direção NE-SW e largura aproximada de 7m. Foto: Eliane Guedes 13
- Figura 7 Visão da costa sudeste da Ilha do Cabo Frio. Próximo ao topo da escarpa, é possível reconhecer uma feição de caverna formada pelo desmoronamento do teto da estrutura em decorrência da instabilidade mecânica gerada pelos pares conjugados de fraturas. 14
- Figura 8 Detalhe de afloramento de nefelina sienito na trilha para o Farol Antigo no ponto 41. Nota-se espaços vazios com formato tabular semelhante aos fenocristais de feldspato visíveis nessa mesma foto. Foto: Eliane Guedes..... 15
- Figura 9 Seção esquemática da Ilha do Cabo Frio. Ponto 1) Afloramento de sienito na borda sul da Praia do Farol, próximo à base da Marinha. Ponto 2) Afloramento de nefelina sienito na borda norte da

Praia do Farol. Neste ponto é onde afloram os enclaves máficos. Ponto 15) Afloramento de xenólito tabular. Ponto 36) Afloramento de monzonito. Ponto 47) Localização do Farol Antigo. A linha espessa entre o monzonito e o ortognaisse representa a Fenda de Nossa Senhora e a falha observada. A linha vermelha tracejada é a trilha para o Farol Novo. As cores de cada litologia estão de acordo com a legenda do mapa geológico. F: Dique de Fonolito; T: Dique de Traquito. Foto: Eliane Guedes. 16

Figura 10 Vista a partir do Pontal do Atalaia do afloramento de ortognaisse na ponta sudoeste da Ilha. Nesta foto, é possível reconhecer o bandamento gnaissico, que mergulha para leste. Foto: Eliane Guedes..... 17

Figura 11 Detalhe do afloramento da figura 10 onde é possível observar uma intrusão máfica de cor preta (1) cortada por um dique sub-horizontal de traquito concordante com a foliação (2) e um terceiro dique também de traquito (3) cortando os outros dois diques. Foto: Eliane Guedes. 18

Figura 12 Detalhe do afloramento de nefelina sienito a norte da praia do Farol no ponto 2. Exibe-se, nesta foto, a variação e transição textural entre porfirítica média e equigranular fina. Xenólito máfico (Xen) pode ser observado no canto inferior esquerdo. Foto: Eliane Guedes 19

Figura 13 Xenólitos máficos no nefelina sienito a norte da Praia do Farol no ponto 2. Notam-se os contatos irregulares indicativos de corrosão magmática e as inclusões esbranquiçadas de analcima e álcali-feldspato. Foto: Eliane Guedes..... 20

Figura 14 Veio formado por fraturamento hidráulico cortando o xenólito no ponto 2 e formando diaclases do mesmo em seu interior. Foto: Eliane Guedes. 20

Figura 15 Afloramento de álcali-feldspato sienito de cor acinzentada do ponto 25 exibindo caneluras formadas pela ação da água..... 21

Figura 16 Afloramento de sienito no ponto 32, caracterizado pela textura equigranular média. Foto: Eliane Guedes..... 21

Figura 17 Detalhe de afloramento de monzonito no ponto 36, evidenciando os fenocristais aciculares de piroxênio. Foto: Eliane Guedes. 22

Figura 18 Afloramento de Sienito do ponto 34 exibindo estrutura de magma mingling dada pela separação entre os bolsões cinza escuros da porção clara. Foto: Eliane Guedes. 22

Figura 19 Detalhe de afloramento no ponto 34 de sienito com xenólito anguloso constituído por piroxênio, anfibólio e feldspato. Foto: Eliane Guedes.....	23
Figura 20 Afloramento de ortognaisse no interior da Fenda de Nossa Senhora no ponto 37 exibindo estrias de falha com direção NE-SW indicadas pelo traçado em vermelho. Foto: Eliane Guedes.....	23
Figura 21 Detalhe de afloramento de fonolito no ponto 7 exibindo fenocristais de álcali-feldspato e nefelina. Foto: Eliane Guedes.	24
Figura 22 Afloramento de dique de traquito no contato entre a brecha vulcânica e o nefelina sienito no ponto 14. Foto: Eliane Guedes.	25
Figura 23 Vista no ponto 14 para a Ponta do Oratório. Deste local, é possível observar o espelho de falha formado pela falha do localizada neste ponto, onde se aloja o dique de traquito da figura anterior. O esquema de cores segue a legenda do mapa geológico. Foto: Eliane Guedes.....	25
Figura 24 Afloramento de traquito na costa oeste da Ilha. A cor avermelhada é em decorrência da formação de óxidos e hidróxidos de ferro. Foto: Eliane Guedes.	26
Figura 25 Detalhe de afloramento do ponto 27 de brecha vulcânica. Podem-se notar diversos litoclastos angulosos de traquito de cor esbranquiçada. Foto: Eliane Guedes.	26
Figura 26 Diagrama QAPF de Streckeisen (1967) para as rochas alcalinas plutônicas e o ortognaisse da Ilha do Cabo Frio. 1a – Quartzolito; Granitoides ricos em quartzo; 2 - Álcali granito; 3a - Sienogranito; 3b - Monzogranito; 4 - Granodiorito; 5 – Tonalito; 6* - Álcali-quartzo sienito; 7* - Quartzo sienito; 8* - Quartzo monzonito; 9* - Quartzo monzodiorito; 10* - Quartzo diorito; 6 – Álcali-feldspato sienito; 7 – Sienito; 8 – Monzonito; 9 – Monzodiorito; 10 – Diorito; 6’ – Álcali-feldspato sienito com nefelina; 7’ – Sienito com nefelina; 8’ – Monzonito com nefelina; 9’ – Monzodiorito com nefelina; 10’ – Diorito com nefelina; 11 – Nefelina Sienito; 12 – Nefelina monzosienito; 13 – Nefelina monzodiorito; 14 – Nefelina diorito; 15 – Nefelinito. Símbolos estão de acordo com a Tabela 1.	28
Figura 27 Diagrama de classificação de rochas gabroicas de Streckeisen (1967), com vértices dados por Clinopiroxênio (Cpx), Ortopiroxênio (Opx) e Plagioclásio (Pl). Neste diagrama, os xenólitos foram classificados como gabro e leucogabro. Símbolos estão de acordo com a Tabela 1.	29
Figura 28 Fotomicrografia em nicóis cruzados do afloramento de ortognaisse na Fenda de Nossa Senhora. Pode-se observar a presença de quartzo poligonal, plagioclásio, álcali-feldspato e biotita	

secundária. Amostra: Ponto 37. Legenda: Afs – álcali-feldspato; Bt – Biotita; Pl – Plagioclásio; Qtz – Quartzo.....	29
Figura 29 Fotomicrografia em nicóis cruzados exibindo cristal de albita com textura em cruz e exibindo geminação chessboard albite. Amostra: Ponto 2. Legenda: Ab - Albita; Afs - Álcali-feldspato; Agt - Aegirina-augita; Ne - Nefelina.....	30
Figura 30 Fotomicrografia em nicóis cruzados exibindo textura intersticial da aegirina-augita entre os cristais tabulares de albita. Amostra: Ponto 2. Legenda: Afs: Álcali-feldspato; Agt - Aegirina-augita; Ne - Nefelina.....	31
Figura 31 Fotomicrografia do enclave de hornblenda-gabro. Nesta imagem, reconhecem-se os cristais pseudomorfos de anfibólio em clinopiroxênio e um grão deste mineral cloritizado à direita. Biotita aparece na borda do grão relicto e nas fraturas. Entre o centro e o topo da figura, notam-se os minerais da família do epidoto formados pela reação entre o anfibólio e o plagioclásio pela passagem de um fluido hidrotermal. Amostra: Pontos 2 e 17. Legenda: Anf – Anfibólio; Ap – Apatita; Cpx – Clinopiroxênio.....	32
Figura 32 Fotomicrografia em nicóis cruzados de um xenólito apresentando plagioclásio e clinopiroxênio como minerais essenciais. Biotita ocorre como corona de alteração do piroxênio. Amostra: Ponto 15. Legenda: Bt - Biotita; Cpx - Clinopiroxênio; Op - Opaco; Pl - Plagioclásio.....	32
Figura 33 Fotomicrografia de álcali-feldspato sienito exibindo cristais de álcali-feldspato recobertos por caulinita, e anfibólio cloritizado com biotita nas bordas. Amostra: ponto 25. Legenda: Anf – Anfibólio; Bt – Biotita; Cpx – Clinopiroxênio; Op – Mineral opaco; Ttn – Titanita.....	33
Figura 34 Fotomicrografia em nicóis cruzados de sienito exibindo cristais anédricos a subédricos de plagioclásio e álcali-feldspato, além de clinopiroxênio com hábito granular. Amostra: Ponto 32. Legenda: Afs – Álcali-feldspato; Cpx – Clinopiroxênio; Pl – Plagioclásio.....	34
Figura 35 Fotomicrografias do monzonito. A) Foto em nicóis paralelos mostrando fenocristais de clinopiroxênio com bordas esverdeadas de substituição por anfibólio, titanita e hornblenda Amostra: Ponto 36. B) Foto em nicóis paralelos mostrando coronas de biotita em hornblenda e de titanita em opaco. Amostra: Ponto 23. Legenda: Bt – Biotita; Cpx - Clinopiroxênio; Hbl – Hornblenda; Ttn – Titanita.	35

Figura 36 Fotomicrografias em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo. A imagem exibe a textura glomeroporfírica formada por fenocristais de nefelina e álcali-feldspato. Amostra: Ponto 4. Legenda: Afs: Álcali-feldspato; Agt: Aegirina-augita; Ne: Nefelina.	36
Figura 37 Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo em nicóis cruzados. Esta imagem mostra um fenocristal euédrico geminado de álcali-feldspato com franja de recristalização nas bordas. Amostra: Ponto 9.....	37
Figura 38 Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo em visão ortoscópica. Esta imagem mostra o equilíbrio de cristalização entre os fenocristais euédricos de titanita e aegirina-augita. Amostra: Ponto 4. Legenda: Agt: Aegirina-augita; Ttn: Titanita.....	37
Figura 39 A) Fotomicrografia em nicóis cruzados de cristais de álcali-feldspato no traquito com textura traquítica. Amostra: Ponto 14. B) Fotomicrografia em nicóis cruzados de traquito mostrando fenocristais de álcali-feldspato geminados e opaco com borda de óxido de ferro imersos em matriz fina composta por micrólitos de feldspato e opacos. Amostra: Ponto 50. Legenda: Afs – Álcali-feldspato; Op – Opaco.	38
Figura 40 Fotomicrografias da brecha vulcânica. A) Litoclasto anguloso de ortognaisse envolto por cristaloclastos de quartzo e feldspato. B) Litoclasto de traquito. Amostras: Ponto 26.	39
Figura 41 Mapa Geológico do Centro - Sul do Pontal do Atalaia exibindo o embasamento de ortognaisse intrudido por diques de fonolito, traquito e diabásio com orientações NE-SW, E-W e NW- SE.	41
Figura 42 Afloramento de ortognaisse exibindo o bandamento gnaissico. Foto: Eliane Guedes.	42
Figura 43 Afloramento de ortognaisse porfírico com fenocristais de plagioclásio imersos em matriz foliada composta por biotita e feldspato localizado na ponta norte das Prainhas do Pontal. Foto: Eliane Guedes.....	42
Figura 44 Afloramento de diabásio próximo ao Boqueirão, no Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.	43
Figura 45 Afloramento de fonolito localizado no Boqueirão, extremo sul do Pontal do Atalaia, exibindo estrutura de fluxo magmático. Foto: Eliane Guedes.	43

Figura 46 Afloramento de traquito com mudança de direção de intrusão pela barreira formada pelo dique de diabásio, localizado no Boqueirão, extremo sul do Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.	44
Figura 47 Afloramento de traquito intrudido no interior de dique máfico a norte da Praia Brava, na costa oeste do Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.	45
Figura 48 Indicadores cinemáticos de falha normal em afloramento de ortognaisse.	46
Figura 49 Densidade de projeção de polos dos planos do bandamento gnáissico no Pontal do Atalaia. Nota-se que a atitude da foliação é marcadamente para leste de médio a alto ângulo.	47
Figura 50 Projeções na rede de Schimdt-Lambert de densidade de polos para as diferentes famílias de fraturas. A) Família E-W. B) Família N-S. C) Família NE-SW. D) Família NW-SE.	47
Figura 51 Diagrama de densidade de projeção de polos para diques do Pontal do Atalaia e da Ilha do Cabo Frio. A) Família E-W. B) Família N-S. C) Família NE-SW. D) Família NW-SE.	48
Figura 52 Gráfico de Na ₂ O vs K ₂ O para as amostras de rochas alcalinas félsicas da Ilha do Cabo Frio. Este gráfico mostra que a Ilha é uma associação de rochas potássicas, com correlação positiva entre as variáveis.	51
Figura 53 Diagrama TAS de Le Bas et al. (1986) para as amostras da Ilha do Cabo Frio. Este diagrama demarca o caráter alcalino para todas elas.	51
Figura 54 Diagrama de Cox et al. (1979) para as amostras da Ilha do Cabo Frio. Este diagrama é coerente com a classificação anterior, plotando as amostras nos campos de nefelina sienito, sienito, monzonito e monzogabro.	52
Figura 55 Diagramas bivariantes de óxidos (em % de peso) versus Sr (em ppm) para as rochas da Ilha do Cabo Frio. Simbologia está de acordo com a tabela 1,	53
Figura 56 Diagramas bivariantes para os elementos traços (em ppm) versus SiO ₂ (em % de peso) para as rochas da Ilha do Cabo Frio. Simbologia está de acordo com a tabela 1.	54
Figura 57 Diagramas multielementares de elementos traços normalizados para o manto primitivo (McDonough & Sun, 1995). A) Amostras de nefelina sienito, fonolito e traquito (Grupo A). B) Amostras de sienito, monzonito e traquito (Grupo B). C) Amostras dos enclaves (Grupo C).	56

Figura 58 Diagramas multielementares de elementos terras raras normalizados para o condrito (Nakamura, 1974). A) Amostras de nefelina sienito, fonolito e traquito (Grupo A). B) Amostras de sienito, monzonito e álcali-feldspato sienito (Grupo B). C) Amostras dos enclaves (Grupo C).....	57
Figura 59 Comparação entre os gráficos Na ₂ O vs K ₂ O das rochas da Ilha do Cabo Frio com a média de teores das rochas félsicas de diversos complexos alcalinos do Alinhamento Magmático Cabo Frio. Nota-se que ambos os gráficos apontam que tais complexos apresentam tendência à série potássica. Fonte dos dados: Ilha do Cabo Frio (este trabalho), Poços de Caldas (Schorscher & Shea, 1992), Itatiaia e Passa Quatro (Enrich et al., 2005), Nova Iguaçu (Arena et al., 2006), Morro de São João (Brotzu et al., 2007), Rio Bonito (Motoki et al., 2010), Morro Redondo e Mendanha (Mota, 2012) e Tanguá (Sichel et al., 2012).	59
Figura 60 Diagramas multielementares de elementos traços normalizados para o manto primitivo (McDonough e Sun, 1995) comparando os dados da Ilha do Cabo Frio com os teores médios dos complexos de Itatiaia, Mendanha, Morro de São João, Morro Redondo, Passa Quatro, Poços de Caldas e Rio Bonito. A) Comparação com o Grupo A. B) Comparação com o Grupo B.	60
Figura 61 Diagramas multielementares de elementos terras raras normalizados para o condrito (Nakamura, 1974) comparando os dados da Ilha do Cabo Frio com os teores médios dos complexos de Itatiaia, Mendanha, Morro de São João, Morro Redondo, Passa Quatro, Poços de Caldas e Rio Bonito. A) Comparação com o Grupo A. B) Comparação com o Grupo B.....	61

Índice de tabelas

Tabela 1 Composição Modal das rochas alcalinas plutônicas, dos xenólitos no nefelina sienito e do ortognaisse da Ilha do Cabo Frio. Os valores apresentados correspondem à média obtida a partir de cinco visadas em cada lâmina petrográfica, expressa em porcentagem (%). Legenda: Afs - Álcali-feldspato Sienito; Bt - Biotita; Cpx – Clinopiroxênio; Ne – Nefelina; Pl – Plagioclásio; Qz – Quartzo; Acessórios correspondem ao somatório de apatita, titanita e minerais opacos; * - contagem feita com anfibólio.	27
Tabela 2 Listagem de amostras da geoquímica, com seus respectivos código, número do ponto de mapeamento, litologia, coordenadas e simbologia:.....	50
Tabela 3 Valores de $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$ para as amostras de nefelina sienito. Os valores abaixo de 1 indicam caráter miaskítico destas rochas.	50
Tabela 4 – Tabela das medidas levantadas do bandamento gnaissico.	78
Tabela 5 – Tabela das medidas levantadas de fraturas.....	78
Tabela 6 – Tabela das medidas levantadas da atitude dos diques	79
Tabela 7 – Dados litogeoquímicos das amostras da Ilha do Cabo Frio.....	80
Tabela 8 – Norma CIPW das amostras da Ilha do Cabo Frio.	82

Sumário

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Índice de figuras	v
Índice de tabelas	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Localização e acesso à área de estudo	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Materiais e Métodos.....	4
2 GEOLOGIA REGIONAL	6
2.1 A Faixa Ribeira e Domínio Tectônico Cabo Frio.....	6
2.2 O Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio	8
3 GEOLOGIA LOCAL	11
4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	13
6 PETROGRAFIA	27
6.1 Ortognaisse	29
6.2 Nefelina Sienito	30
6.3 Álcali-feldspato sienito	33
6.4 Sienito	34
6.5 Monzonito.....	34
6.6 Fonolito.....	36
6.7 Traquito.....	37
6.8 Brecha Vulcânica.....	39
7 GEOLOGIA ESTRUTURAL	40
7.1 Aspectos de campo	40
7.2 Estereogramas e Diagramas de Rosetas.....	46
8 LITOGEOQUÍMICA	49
8.1 Critério de seleção das amostras	49
8.2 Interpretação dos resultados.....	50
8.3 Correlação geoquímica com o Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio	58
9 DISCUSSÕES	62
10 CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	73

Anexo 1 – Mapa de Pontos	74
Anexo 2 – Mapa Geológico	76
Anexo 3 – Tabelas de Medidas Estruturais	78
Anexo 4 – Dados Litogequímicos e norma CIPW	80

1 INTRODUÇÃO

Rochas alcalinas são caracterizadas geoquimicamente pelo teor de álcalis em relação ao de sílica, interpretados como produto da fusão parcial do manto inferior em zonas mais profundas (Sorensen, 1974). No sudeste do Brasil, diversos registros de corpos alcalinos são relatados em São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, datados desde o final do Jurássico até o Cenozoico. Afora da costa brasileira, são encontradas ilhas formadas por associações de rochas vulcânicas alcalinas, como Fernando de Noronha, Martin Vaz e Trindade (Ulbrich & Gomes, 1981). Estudos apontam que a colocação desses maciços alcalinos no sudeste está intimamente ligada a grandes estruturas tectônicas orientadas a NE-ENE formadas durante o Proterozoico, oriundas de fragmentação e drifte continental, que sofreram reativação tectônica a partir do Mesozoico durante a fragmentação continental (Herz, 1977; Ulbrich & Gomes, 1981; Almeida, 1983).

A Ilha do Cabo Frio faz parte do denominado Alinhamento Poços de Caldas – Cabo Frio, um conjunto de 13 corpos alcalinos alinhados na direção NW-SE desde Poços de Caldas, em Minas Gerais, até Arraial do Cabo, na costa do estado do Rio de Janeiro (Almeida, 1986; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). Sua geologia aponta para a associação de rochas plutônicas insaturadas e saturadas em sílica, intrudidas por seus correspondentes subvulcânicos, e justapostos a um corpo piroclástico de preenchimento de conduto vulcânico (Araújo, 1995, Sichel *et al.*, 2008).

A área de estudo apresenta diversos mapas geológicos publicados anteriormente, os quais apresentam similaridades. Porém, dados com enfoque na petrografia e geoquímica dessas rochas são escassos e muitas vezes foram levantados em escala não representativa da diversidade geológica encontrada e incompatível com o tamanho da Ilha.

Partindo desse princípio, o presente trabalho buscou caracterizar e individualizar petrografica e geoquimicamente as unidades litológicas da área estudada. Também foi estudado o modelo de intrusão dos corpos alcalinos, verificando possíveis relações com o embasamento metamórfico. Por fim, procurou-se elucidar a relação petrogenética entre os corpos alcalinos da Ilha do Cabo Frio com os demais corpos que compõem o Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio.

1.1 Localização e acesso à área de estudo

A Ilha do Cabo Frio é localizada no município de Arraial do Cabo, na Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro (Figura 1) a aproximadamente 164 km da capital.

O melhor acesso é feito por meio da Ponte Rio-Niterói, seguindo-se pela Rodovia Niterói-Manilha (BR-101) por aproximadamente 72,7 km, passando pelas cidades de São Gonçalo e Itaboraí (Figura 2). O trajeto continua pela Via Lagos (RJ-124), com entrada próxima a Rio Bonito, percorrendo 57,1 km até entrar na Rod. Amaral Peixoto (RJ-106). Nesta via, percorre-se mais 3,2 km, continuando pela RJ-140, beirando a Lagoa de Araruama. Após 13,7 km, o percurso segue para a Rod. Gen. Bruno Martins (RJ-102) por 10,4 km até alcançar o centro de Arraial do Cabo.



Figura 1 Localização do Município de Arraial do Cabo na Região dos Lagos, a sudeste do estado do Rio de Janeiro. Fonte da imagem de satélite: Google Earth.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo detalhar a geologia da Ilha do Cabo Frio através de mapeamento geológico baseado em imagens de satélite em escala 1:5.000 que foi integrado em uma base cartográfica de escala 1:20.000, descrição petrográfica dos litotipos mapeados e litogeoquímica. Pretende-se caracterizar os tipos litológicos a partir da petrografia e de suas características geoquímicas, entender a relação entre as intrusões e a tectônica regional e correlacionar a geologia local com o contexto do Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio.

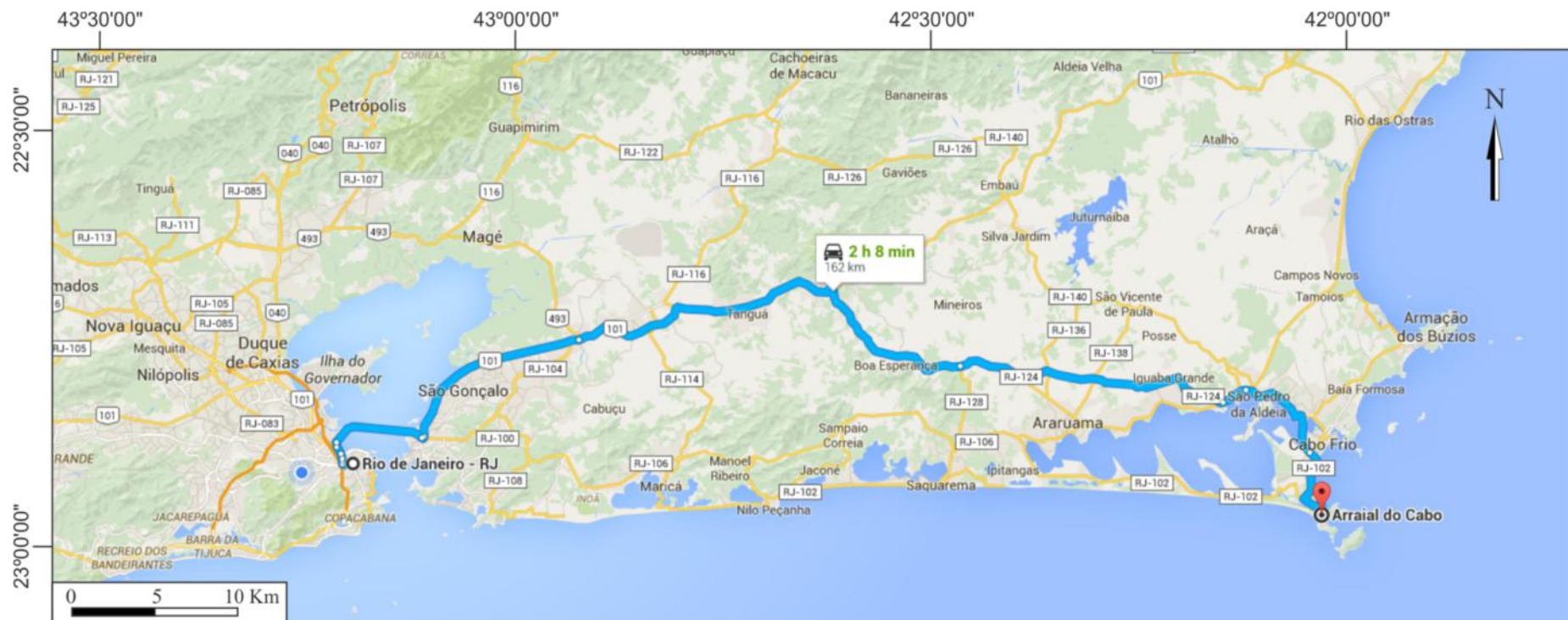


Figura 2 Trajeto de melhor acesso do Rio de Janeiro a Arraial do Cabo, localizada a 164 Km para leste da capital. O caminho percorre a BR-101 até a entrada para a Via Lagos, próximo a Rio Bonito. Esta estrada vai até São Pedro da Aldeia e, a partir deste município, continua-se em direção a Cabo Frio, seguindo a saída para Arraial do Cabo. Fonte: Google Maps

1.3 Materiais e Métodos

A pesquisa foi dividida em três etapas, a serem descritas abaixo:

1ª etapa) Fase Pré-campo – Esta fase pode ser resumida na decisão das diretrizes do projeto e nos preparativos para a realização das tarefas da fase seguinte. Estudou-se a geologia da região e os trabalhos anteriores efetuados, analisando os mapas publicados e apontando diferenças entre eles

Também foi decidida a escala apropriada para a confecção do mapa, visando detalhar a região. Para tanto, foi escolhida a escala de 1:20.000 com base na carta náutica da Marinha do Brasil, denominada Enseadas do Cabo Frio, nº 1503, disponível online. Contudo, durante as atividades de campo, fez-se uso da imagem de satélite extraída a partir do Google Earth®, em escala aproximada de 1:5.000 para auxiliar na demarcação de pontos e localização.

2ª etapa) Fase de Campo – Esta etapa consistiu nos trabalhos de mapeamento geológico, descrição de afloramentos, análise estrutural e coleta de amostras de rocha destinadas à análise petrográfica em microscópio e análise litogeoquímica. Foram realizados seis etapas de campo, com dois a três dias cada, totalizando 97 pontos de afloramento, sendo 52 na Ilha do Cabo Frio e 45 no Pontal do Atalaia.

O mapeamento utilizou trilhas para visitar os afloramentos da região e também de barco para percorrer a costa da Ilha. O trabalho contou com o auxílio de *GPS* da marca *Garmin*, modelo *Etrex*, no datum WGS84, para plotar os pontos de afloramento com mais precisão no mapa e na imagem de satélite. A aferição das medidas estruturais foi feita por bússola da marca *Brunton*, modelo *Pró-Eclipse 360*.

3ª etapa) Fase Pós-campo – O trabalho deu prosseguimento com a confecção do mapa geológico digital por meio da extensão ArcMap do programa Arcgis 10, com suporte nas descrições feitas em lâmina petrográfica; e com a interpretação dos dados litogeoquímicos obtidos a partir de diagramas e gráficos apropriados para o caráter geoquímico destas rochas.

A descrição das seções finas foi realizada no Museu Nacional/UFRJ utilizando o microscópio do modelo *Zeiss AxioCam*. A contagem modal dos minerais procedeu a partir da estipulação visual feita em cinco visadas, obtendo-se em seguida o valor médio para cada mineral. Para classificar as rochas nos diagramas de classificação de rochas plutônicas, fez-se o recálculo dos minerais essenciais de cada litotipo para 100%.

A preparação das amostras destinadas à geoquímica foi feita em moinho de panela no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de

Janeiro (UFRJ) e as amostras pulverizadas foram analisadas no *Activation Laboratories* Ltda, localizado no Canadá.

Uma análise de Espectroscopia Raman foi realizada para determinar a composição mineralógica do preenchimento de amígdalas em um xenólito encontrado.

As amostras utilizadas na litogeoquímica foram preparadas na Universidade Federal do Rio de Janeiro em moinho de panela da marca *Siebtechnik* do Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia.

Para tanto, as amostras de mão foram cortadas em pequenos cubos com dimensões médias de 1,5cm de aresta. Escolheram-se sete desses pedaços para dispô-los no moinho e triturá-los por 2,5 min, obtendo-se, então, o pó em fração de 50 *mesh*.

2 GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida no contexto do Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999), que representa uma série de intrusões ígneas encaixadas no embasamento Pré-Cambriano da porção sudeste da Faixa Ribeira.

No presente capítulo, será apresentada sucintamente a geologia da Faixa Ribeira, com enfoque no Domínio Tectônico Cabo Frio e uma breve descrição sobre o Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio, contexto em que a área alvo se insere.

2.1 A Faixa Ribeira e Domínio Tectônico Cabo Frio

A Faixa Ribeira é um cinturão orogênico de idade neoproterozoica a cambriana localizado no segmento central da Província Mantiqueira, na Região Sudeste do Brasil (Heilbron *et al.*, 2000). Ela corresponde a sucessivas acreções crustais ocorridas durante a amalgamação do paleocontinente Gondwana enquadradas nos eventos orogênicos do Panafricano-Brasiliano (Brito Neves *et al.*, 1999; Trouw *et al.*, 2000), sendo resultado da convergência entre o Cráton São Francisco, o Cráton do Congo e diversas microplacas e arcos de ilha.

Esta faixa móvel ocupa uma área de 1400 km de extensão ao longo da costa do Oceano Atlântico Sul na direção NE-SW, se conectando a norte com a Faixa Araçuai e a sudoeste com a placa Luís Alves (Brito Neves *et al.*, 1999; Heilbron *et al.*, 2000; Schmitt *et al.*, 2008a). A oeste, a Faixa Ribeira forma uma zona de interferência com a Faixa Brasília, marcada pela sobreposição de estruturas tectônicas NNW-SSE desta faixa por estruturas NE-SW da Faixa Ribeira (Trouw *et al.*, 2000).

A região central do cinturão é dividida em quatro terrenos tectônicos: Terreno Ocidental, Klippe Paraíba do Sul, Terreno Oriental e Domínio Tectônico Cabo Frio (Figura 3; Heilbron & Machado, 2003; Heilbron *et al.*, 2004). Esses terrenos são separados ou por falhas de empurrão ou por zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas.

O Terreno Ocidental corresponde a um terreno autóctone, interpretado como a margem retrabalhada do Cráton São Francisco. É constituído pelos domínios Andrelândia e Juiz de Fora (Heilbron *et al.*, 2000). O primeiro engloba sequências metassedimentares tais como paragneisses bandados, quartzitos e filitos da Sequência Carrancas, recobertas por metamáficas e calcissilicáticas da Sequência Serra do Turvo (Ribeiro *et al.*, 1995). O Domínio Juiz de Fora se caracteriza por ortogneisses de fácies granulito e estruturas migmatíticas indicativas de pico metamórfico (Trouw *et al.*, 2000).

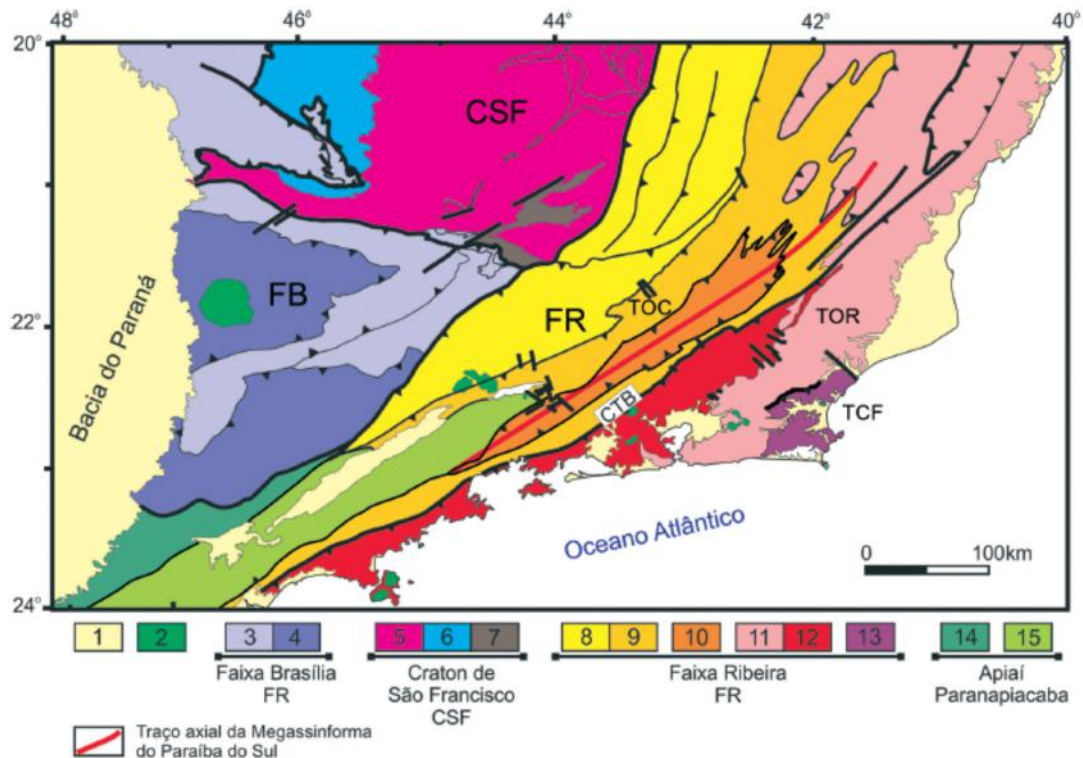


Figura 3 Mapa tectônico do setor central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília (Heilbron *et al.*, 2004). 1- Riftes e coberturas cenozoicos; 2 – Rochas alcalinas do Cretáceo e Paleógeno; 3 - Nappes inferiores; 4 - Nappes superiores; 5 - Embasamento do Cráton São Francisco e Domínio Autóctone; 6 - Supergrupo São Francisco; 7 - Metassedimentos do Domínio Autóctone; 8 – Domínio Andrelândia; 9 - Domínio Juiz de Fora; 10 - Klippe Paraíba do Sul; 11 - Terreno Oriental; 12 - Granitoides do Arco Magmático Rio Negro; 13 - Terreno Cabo Frio; 14 – Terrenos São Roque e Açungui; 15 - Terreno Embu.

Ortognaisses e rochas metassedimentares da Klippe Paraíba do Sul sobrepõem o Domínio Juiz de Fora formando estruturas sinformais na fácies anfibolito médio (Heilbron & Machado, 2003).

O Terreno Oriental compreende os domínios Cambuci e Costeiro e a Klippe de Italva, todos de idade neoproterozoica. São gnaisses intercalados com mármore, quartzito, camadas calcissilicáticas e granitoides foliados ou não acrecionados à margem do Cráton São Francisco entre 590 – 550 Ma (Heilbron & Machado, 2003). Este terreno é separado do Ocidental pelo *Central Tectonic Boundary*.

O Domínio Tectônico Cabo Frio foi o último terreno amalgamado ao cinturão orogênico, ocorrido durante a Orogenia Búzios datado entre 525 – 495 Ma (Schmitt, 2001; Schmitt *et al.*, 2004).

Este domínio é dividido entre o embasamento Paleoproterozoico e o Grupo Búzios – Palmital, de idade Neoproterozico a Cambriano (Silva *et al.*, 2012). O embasamento é representado pelo Complexo Região dos Lagos, composto por ortognaisses com enclaves metadiorídicos e metatonalíticos, xenólitos anfibolíticos, metagranitoides e veios quartzo-

feldspáticos, separados em 5 grupos diferentes. O Grupo Búzios – Palmital corresponde a uma sucessão metassedimentar representada por paragnaisse ricos em minerais de alumínio da Unidade Búzios na base, sobrepostos por gnaisse quartzo-feldspáticos da Unidade Palmital, com intercalações de ortoanfibolitos bandados com níveis calcissilicáticos da Unidade Forte de São Mateus.

A descrição faciológica dessas litologias foi interpretada como variações laterais de um turbidito hemipelágico para uma sedimentação pelítica de um leque submarino. As rochas máficas desse grupo representariam uma atividade vulcânica durante a sedimentação (Schmitt *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2012).

2.2 O Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio

O magmatismo alcalino associado ao Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio tem sido relacionado à passagem da Placa Sulamericana sobre uma pluma mantélica do Eocretáceo ao Eoceno durante a separação desta placa da Placa Africana (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). Esta cadeia envolve diversos complexos alcalinos na direção WNW-ESE, com continuação na Cadeia Vitória-Trindade de direção E-W após um deslocamento no sentido NE, devido à rotação horária da Placa Sulamericana no Eoceno (Thomaz Filho & Rodrigues *op cit*; Ernesto, 1996).

Sichel *et al.* (2012) somaram a esse modelo uma proposta de evolução magmática em três estágios, assumindo o processo de super-reaquecimento magmático, marcado pela mudança de leucita para feldspato alcalino como a fase cristalizada e assimilação da crosta continental félsica, com consequente mudança da composição de subsaturada para supersaturada em sílica. A injeção de novos pulsos de magmas seria a responsável pelo super-reaquecimento.

A cadeia se inicia em Poços de Caldas (Figura 4; Schorscher & Shea, 1992) e compreende, de oeste para leste, os maciços de Passa Quatro (Brotzu *et al.*, 1992), Itatiaia (Brotzu *et al.*, 1997), Morro Redondo (Brotzu *et al.*, 1989), Tinguá, Mendanha (Mota, 2012), Itaúna, Tanguá, Rio Bonito, (Motoki *et al.*, 2008a; Motoki *et al.* 2010), Soarinho, Morro dos Gatos (Motoki *et al.*, 2012; Geraldés, *et al.*, 2013), Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007; Mota *et al.*, 2009) e Ilha do Cabo Frio (Araújo, 1995; Motoki & Sichel, 2008). São constituídos majoritariamente por rochas félsicas, intrusivas e subvulcânicas, com rochas piroclásticas e, em raros casos, máfica-ultramáficas.

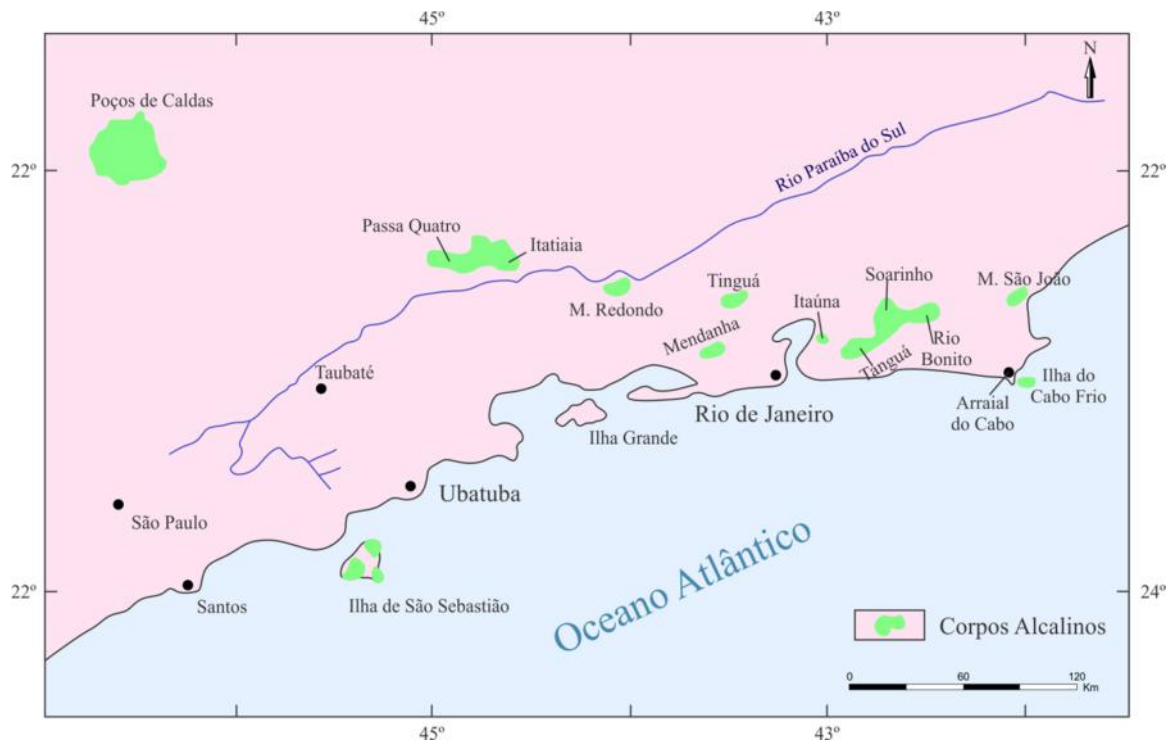


Figura 4 Mapa da localização dos maciços alcalinos do Alinhamento Magmático Poços de Caldas - Cabo Frio no sudeste do Brasil. Adaptado de Almeida (1986).

O corpo principal da maioria dos complexos é constituído por nefelina sienito, frequentemente bordejado por sienitos alcalinos e/ou monzonitos. O maciço de Soarinho, em especial, é caracterizado pela ausência de nefelina. Por outro lado, no Morro de São João também afloram subordinadamente corpos máficos-ultramáficos alcalinos, como álcali-gabros, clinopiroxenitos e shonkinitos. Magmatismo ultrapotássico é encontrado em Poços de Caldas, Mendanha, Tanguá, Rio Bonito Morro de São João e em Arraial do Cabo.

Intrusões subvulcânicas de traquito e fonolito são amplamente disseminadas pelo alinhamento cortando as diversas litologias e compondo os clastos dos tufos soldados de preenchimento de conduto vulcânico presente em sete maciços do estado do Rio de Janeiro.

Datações radiométricas por métodos K/Ar e Rb/Sr apontam para um constante decréscimo no valor das idades dos maciços (Figura 5), podendo corroborar com a hipótese de o Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio seja um *hotspot*. Entretanto, alguns autores afirmam que a distância entre os maciços e a diferença de idade não condizem com a velocidade de deslocamento da Placa Sulamericana nesse intervalo de tempo.

Mota (2012) estudando os maciços de Morro Redondo, Morro de São João e Mendanha verificou que a idade $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dos dois últimos são semelhantes, ambos com aproximadamente 64 Ma. Devido à grande distância entre eles, o modelo de *hotspot* não se sustentaria.

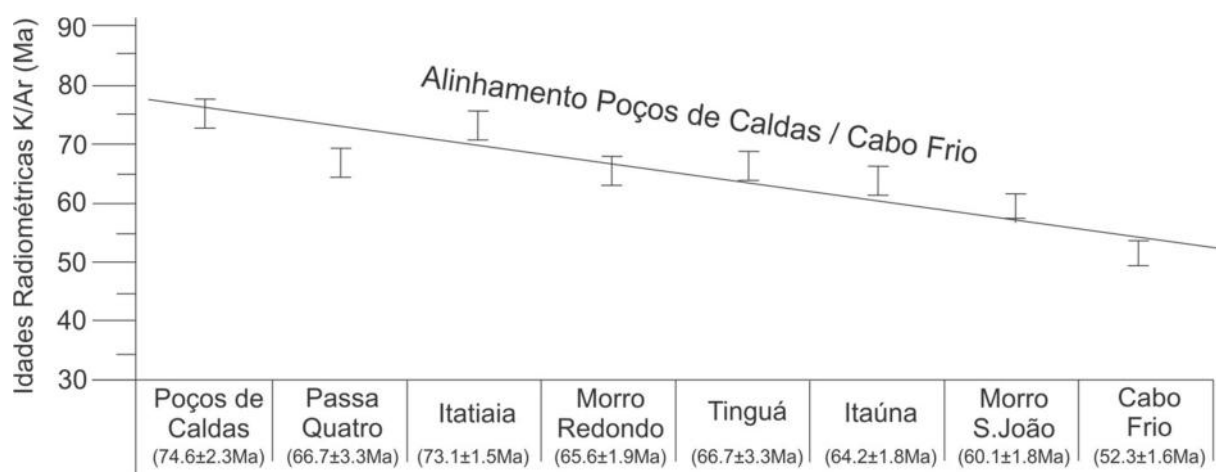


Figura 5 Idades radiométricas por K/Ar das rochas alcalinas do Alinhamento Magmático Poços de Caldas - Cabo Frio. Os valores são a média das idades obtidas a partir de diversas amostras consideradas representativas do principal evento magmático. (Adaptado de Thomaz Filho *et al.*, 2005; Ribeiro Filho & Cordani, 1966; Amaral *et al.*, 1967; Cordani, 1970; Sonoki & Garda, 1987).

Este autor, ao agrupar os maciços do alinhamento pela proximidade temporal e mostrar que a química isotópica se mantém mesmo em litotipos petrograficamente distintos, argumenta que é possível formar corpos contemporâneos oriundos de uma mesma fonte mantélica e separados por uma grande distância se esta pluma fosse suficientemente grande para abranger toda a área de ocorrência de tais rochas.

3 GEOLOGIA LOCAL

A região de Arraial do Cabo já foi alvo de diversos trabalhos de mapeamento geológico (p. ex.: Lima & Chivegatto, 1975; Araújo, 1995; Ferrari, 2001; Sichel *et. al.*, 2008) e outros com enfoque estrutural correlacionando, ou não, com a disposição dos corpos intrusivos (p. ex.: Ferrari, 2001; Motoki *et. al.*, 2008b; Motoki & Sichel, 2008; Bastos, 2010). Os autores indicam a ocorrência de um embasamento Neoproterozoico intrudido por rochas toleíticas e por corpos plutônicos e diques de rochas alcalinas, além de um corpo vulcanoclástico subvulcânico.

Os primeiros estudos petrológicos das rochas alcalinas da região de Arraial do Cabo remontam ao final do século XIX por Derby (1887), caracterizando a geologia em foiaitos, augita sienitos com nefelina e tufo feldspáticos encaixados em gnaiss. Neste trabalho, o autor também relata a ocorrência de diques de fonolito, diabásio, anfibolito e basalto intrudindo o embasamento presente na área continental.

Os trabalhos de mapeamento foram retomados por Lima & Chivegatto (1974) e Lima (1976) que definiram o corpo de nefelina sienito como o principal e o mais abrangente da área, com uma borda de traquito a oeste e pulaskitos, nordmarkitos e brecha a sul-sudoeste. Essas rochas haviam sido previamente datadas por Amaral *et al.* (1967) fornecendo uma idade de 51 Ma pelo método K/Ar.

Araújo (1995) redefine a porção sudoeste da Ilha classificando em alcalifeldspato sienito com e sem nefelina, sienito e monzonito cortados por diques de traquito e fonolito. Pioneira na análise litogeoquímica da área, ela interpretou a evolução magmática dessas rochas como um processo evolutivo único, que se iniciaria nos lamprófiros, passando a tipos mais evoluídos, representados pelo nefelina sienito e fonolito, através de diferenciação magmática por cristalização fracionada. Ela também admite que seria necessário assimilação crustal para que para que a barreira termal entre o magma insaturado e o saturado em sílica fosse ultrapassada, possibilitando a formação dos sienitos, monzonito e traquito.

Em sua dissertação de mestrado, Araújo (*op cit*) também discorre sobre a ocorrência de stocks de nefelina sienito no Pontal do Atalaia e no Morro do Forno, bem como sobre os diversos corpos tabulares que afloram no Pontal.

Sichel *et al.* (2008), no entanto, assumem que a Ilha é formada predominantemente por nefelina sienito e brecha vulcânica bordejados pelo embasamento de ortognaiss do Complexo Região dos Lagos, contrariando a ideia da diversidade de litotipos existentes na área.

Bennio *et al.* (2003) relataram a ocorrência de um enxame de diques toleíticos em Arraial do Cabo, mais precisamente no Pontal do Atalaia. Datações radiométricas de K/Ar, sugerindo idade aproximada em 55 Ma, e análise química e isotópica indicaram que este evento não está relacionado com o magmatismo de Paraná-Etendeka e que sua fonte mantélica difere da fonte da Ilha de Trindade.

Motoki *et al.* (1988) classificaram três gerações de corpos tabulares alcalinos, divididos em lamprófiros, traquito com alteração deutérica e fonolito. Seu mecanismo de intrusão foi estudado por Motoki & Sichel (2008) e Motoki *et al.* (2008b), que explicaram, por meio do modelo de fraturamento hidráulico, a transição de dique para *sill* e a colocação de corpos sub-horizontais discordantes. Segundo esses autores, o fraturamento é causado pela pressão magmática que geraria uma nova fratura com direção perpendicular ao δ_3 . Dessa forma, as intrusões passariam pelos estágios subvertical discordante, oblíquo concordante e, por fim, sub-horizontal discordante.

4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A Ilha do Cabo Frio é um acidente geográfico de comprimento aproximado de 4,5 km por 2,5 km de largura, ocupando uma área de quase 6,5 km². Sua cota máxima é de 390m onde existe o antigo farol da Ilha. Cactos e vegetação de porte médio refletem o clima semiárido da região e compõem o cenário na porção sudoeste, enquanto que árvores de grande porte tomam a paisagem na parte central. Este clima é em decorrência da atuação da ressurgência de águas frias oriunda da corrente das Malvinas que regem o cenário marinho da região (Barbieri, 1984; Valentin, 1984).

Quanto à geomorfologia, a Ilha apresenta forma alongada na direção NE-SW e uma única praia denominada Praia do Farol na costa leste, com vista para a cidade de Arraial do Cabo. Escarpas de mesma direção são visíveis ao longo da costa sudoeste, cuja feição mais conhecida no local é a Fenda de Nossa Senhora (Figura 6). O cenário também é composto por lajedos na costa e nas áreas mais elevadas da Ilha. Pares conjugados de fraturas formam pequenas cavernas a partir do desmoronamento do teto da estrutura (Figura 7).

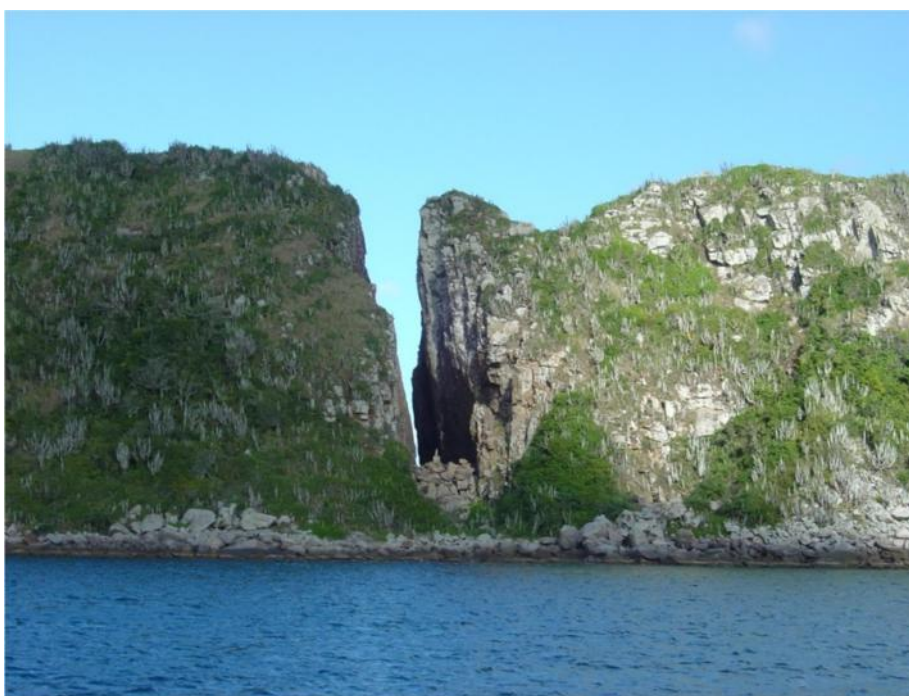


Figura 6 Fenda de Nossa Senhora vista da Enseada dos Anjos. Abertura apresenta direção NE-SW e largura aproximada de 7m. Foto: Eliane Guedes

Savi *et al.*, (2005) e Castro *et al.*, (2012) relataram a ocorrência de *beachrocks*, com composição predominantemente carbonática na Praia do Farol, havendo dois afloramentos submersos e outros dois emersos. Estas rochas são importantes marcadores de antigas linhas de costa, sendo usadas como instrumentos para reconstituição paleoambiental. A datação



Figura 7 Visão da costa sudeste da Ilha do Cabo Frio. Próximo ao topo da escarpa, é possível reconhecer uma feição de caverna formada pelo desmoronamento do teto da estrutura em decorrência da instabilidade mecânica gerada pelos pares conjugados de fraturas.

desses *beachrocks* sugere uma variação relativa do nível do mar em torno de 6m entre 13.130 a 11.149 cal AP.

Savi *et al.* (*op cit*) também discorrem sobre sambaquis encontrados na mesma praia. Eles se tratam de importantes sítios arqueológicos, guardando vestígios de atividade humana pré-histórica próxima ao nível do mar.

Destaca-se também que a Praia do Farol é a única existente na área de estudo. Segundo Quadros (2013), esta praia apresenta variação granulométrica de oeste para leste, que vai crescendo para leste possivelmente em decorrência da atividade das ondas. Apesar da natureza alcalina da Ilha, a contribuição sedimentar é principalmente continental por sua composição predominantemente quartzosa. Minerais alcalinos foram reconhecidos apenas próximo ao afloramento de nefelina sienito na ponta leste da Praia.

5 GEOLOGIA DE CAMPO

Os afloramentos visitados estão localizados ao redor da Ilha e nas trilhas para os faróis Novo, localizado na ponta sudeste, e Antigo, localizado no topo da região central, como pode ser visto no mapa de pontos do Anexo 1. Em sua maioria ocorrem como lajedos e grandes paredões nas regiões de costa e como lajedos e blocos alinhados nas porções centrais da ilha.

No geral, apresentam baixo índice de atividade intempérica, sendo possível reconhecer suas características petrográficas. Aspectos secundários se resumem a fraturas sem planos definidos, óxidos e hidróxidos de ferro onde há contato constante com a água do mar e caneluras em alguns afloramentos na trilha para o Farol Novo. Também foram observadas vacâncias dadas pela retirada de cristais das rochas por corrente de água (Figura 8) e marcas de fraturamento por raízes a sua atividade bioquímica.



Figura 8 Detalhe de afloramento de nefelina sienito na trilha para o Farol Antigo no ponto 41. Nota-se espaços vazios com formato tabular semelhante aos fenocristais de feldspato visíveis nessa mesma foto. Foto: Eliane Guedes.

Os litotipos mapeados envolvem rochas ígneas plutônicas, vulcânicas e piroclásticas, incluindo uma unidade metamórfica correspondente ao embasamento. As rochas foram classificadas petrograficamente como ortognaisse, nefelina sienito, sienito, monzonito, traquito, fonolito e brecha vulcânica (vide mapa, Anexo 2). A figura 9 remete à seção geológica esquemática da Ilha desenhada por sobre uma foto panorâmica dela. Através dessa foto, é possível observar a localização de alguns pontos de afloramento a serem mencionados a seguir.

O embasamento é constituído por ortognaisse do complexo Região dos Lagos, com foliação bem marcada pelo bandamento gnaissico com atitude geral para leste e mergulho de



Figura 9 Seção esquemática da Ilha do Cabo Frio. Ponto 1) Afloramento de sienito na borda sul da Praia do Farol, próximo à base da Marinha. Ponto 2) Afloramento de nefelina sienito na borda norte da Praia do Farol. Neste ponto é onde afloram os enclaves máficos. Ponto 15) Afloramento de xenólito tabular. Ponto 36) Afloramento de monzonito. Ponto 47) Localização do Farol Antigo. A linha espessa entre o monzonito e o ortognaisse representa a Fenda de Nossa Senhora e a falha observada. A linha vermelha tracejada é a trilha para o Farol Novo. As cores de cada litologia estão de acordo com a legenda do mapa geológico. F: Dique de Fonolito; T: Dique de Traquito. Foto: Eliane Guedes.

55° em média. Na Ilha, ele aflora principalmente a NW da Fenda de Nossa Senhora, em uma faixa estreita no centro da costa sudoeste e em outra faixa na ponta sudeste. O primeiro local pode ser observado a partir do pontal do Atalaia, como mostrado na figura 10, ou caminhando pela costa a partir da base do IEAPM localizada na Praia do Farol quando a maré está baixa. Entretanto, sua acessibilidade fica restrita a um pequeno trecho próximo à fenda. As outras duas áreas citadas só podem ser alcançadas via barco.



Figura 10 Vista a partir do Pontal do Atalaia do afloramento de ortognaisse na ponta sudoeste da Ilha. Nesta foto, é possível reconhecer o bandamento gnaissico, que mergulha para leste. Foto: Eliane Guedes.

Esta rocha apresenta granulação média com textura porfírica xenomórfica, cujos fenocristais são representados por quartzo e feldspato. A fase máfica é representada por biotita, conferindo índice de cor leucocrática.

O bandamento gnaissico é caracterizado pela intercalação de bandas félsicas com cristais tabulares de feldspato e quartzo dispostos paralelamente à porção máfica constituída por plagioclásio, piroxênio, anfibólio e biotita.

Diversas intrusões tabulares sub-horizontais ou subverticais são observadas nos vários afloramentos, tanto concordantes quanto discordantes à foliação. Podem ser representadas por traquito, fonolito ou diques máficos, como diabásio. Em alguns casos, é possível interpretar a cronologia relativa desses corpos a partir das relações de corte (Figura 11).

Outras feições notáveis nesta unidade são as três famílias de fraturas tectônicas com orientações N-S, NE-SW e NW-SE, que podem inclusive formar pequenas falhas normais. Acredita-se que elas tenham estreita relação com as intrusões mapeadas.



Figura 11 Detalhe do afloramento da figura 10 onde é possível observar uma intrusão máfica de cor preta (1) cortada por um dique sub-horizontal de traquito concordante com a foliação (2) e um terceiro dique também de traquito (3) cortando os outros dois diques. Foto: Eliane Guedes.

A partir da ponta norte da Praia do Farol e na trilha para o Farol Antigo, aflora o nefelina sienito, corpo que compõe a maior área da Ilha. Os afloramentos ocorrem na forma de lajedos e blocos com coloração branco-acinzentada e índice de cor leucocrática. Sua textura é inequigranular porfirítica, pontualmente seriada, com fenocristais tabulares de álcali-feldspato.

Considerando como um todo, o nefelina sienito é uma rocha texturalmente heterogênea, não havendo um padrão que se repita em todos os afloramentos. Cada um possui suas próprias características texturais, apesar da mesma proporção modal da mineralogia essencial.

A norte da Praia do Farol, esta litologia apresenta variações texturais entre porfirítica média a equigranular fina sem definir um zoneamento claro (Figura 12). É possível reconhecer, entretanto, aspectos transicionais de uma textura para outra, não ocorrendo assim, de maneira brusca.



Figura 12 Detalhe do afloramento de nefelina sienito a norte da praia do Farol no ponto 2. Exibe-se, nesta foto, a variação e transição textural entre porfirítica média e equigranular fina. Xenólito máfico (Xen) pode ser observado no canto inferior esquerdo. Foto: Eliane Guedes

Sua mineralogia é constituída por nefelina e álcali-feldspato, com piroxênio como o mineral máfico. A nefelina ocorre como cristais quadráticos e o feldspato, como cristais tabulares. O piroxênio apresenta cor preta e hábito anédrico a acicular curto.

Xenólitos máficos compostos por anfibólio e piroxênio orientados e plagioclásio intersticialmente a eles estão presentes na borda do afloramento. Suas extremidades são lobadas ou serrilhadas (Figura 13), indicando corrosão pelo magma formador da encaixante. Neles também estão inclusos glóbulos esbranquiçados compostos por analcima e álcali-feldspato, identificados com o uso de Espectroscopia Raman. Alguns blocos possuem veios composicionalmente semelhante ao nefelina sienito. A melhor evidência para isso são xenólitos desse mesmo enclave no interior do veio, mostrando o processo de fraturamento hidráulico (Figura 14).

Outro corpo de xenólito máfico aflora com forma tabular encaixado no nefelina sienito 50 m a frente deste local. Seu contato com a alcalina é reto e apresenta textura maciça, sem estrutura de orientação de fluxo.

Quanto aos demais afloramentos de nefelina sienito na trilha para o Farol Antigo, a textura desta unidade se modifica ao longo do percurso, passando de porfirítica a equigranular. Podemos interpretar esta variação nos tipos texturais como etapas diferentes de cristalização, com momentos de rápida e lenta cristalização dada por mudanças na temperatura da câmara magmática.



Figura 13 Xenólitos máficos no nefelina sienito a norte da Praia do Farol no ponto 2. Notam-se os contatos irregulares indicativos de corrosão magmática e as inclusões esbranquiçadas de analcima e álcali-feldspato. Foto: Eliane Guedes.



Figura 14 Veio formado por fraturamento hidráulico cortando o xenólito no ponto 2 e formando diaclases do mesmo em seu interior. Foto: Eliane Guedes.

O álcali-feldspato sienito é encontrado na trilha para o Farol Novo e na costa sudoeste sob a forma de lajedos. Esta rocha apresenta cor acinzentada e textura equigranular média, exibindo cristais orientados de feldspato orientados nos afloramentos da costa. Este litotipo é composto por álcali-feldspato, piroxênio e biotita. Feições secundárias como caneluras são observadas nos afloramentos da trilha (Figura 15).



Figura 15 Afloramento de álcali-feldspato sienito de cor acinzentada do ponto 25 exibindo caneluras formadas pela ação da água.

A sudoeste da Ilha, entre a Fenda de Nossa Senhora e a borda sul da Praia do Farol, afloram rochas saturadas em sílica compostas essencialmente por plagioclásio e álcali-feldspato, cuja fase máfica é representada por piroxênio e biotita. Elas são reconhecidas em campo pela diferença textural existente entre si. O sienito apresenta textura equigranular média (Figura 16), enquanto que o monzonito é caracterizado por fenocristais aciculares de piroxênio (Figura 17). Este foi mapeado próximo à Fenda e na parte mais elevada dessa região da Ilha, enquanto que o sienito abrange a área restante.



Figura 16 Afloramento de sienito no ponto 32, caracterizado pela textura equigranular média. Foto: Eliane Guedes.



Figura 17 Detalhe de afloramento de monzonito no ponto 36, evidenciando os fenocristais aciculares de piroxênio. Foto: Eliane Guedes.

Bolsões acinzentados em meio ao sienito caracterizam separações magmáticas de líquidos com composições semelhantes, revelando processos de *magma mingling* (Figura 18).



Figura 18 Afloramento de Sienito do ponto 34 exibindo estrutura de magma mingling dada pela separação entre os bolsões cinza escuros da porção clara. Foto: Eliane Guedes.

Xenólitos máficos, semelhantes aos citados anteriormente, estão presentes no sienito com forma alongada ou com borda irregular (Figura 19).



Figura 19 Detalhe de afloramento no ponto 34 de sienito com xenólito anguloso constituído por piroxênio, anfibólio e feldspato. Foto: Eliane Guedes.

O contato destas unidades com o ortognaisse ocorre na Fenda de Nossa Senhora. Essa estrutura corresponde a uma falha com *strike* NE-SW, marcada por estrias oblíquas de falha com essa direção (Figura 20). Por outro lado, o contato com o nefelina sienito é inferido a partir da última ocorrência de cada afloramento na área delimitada.

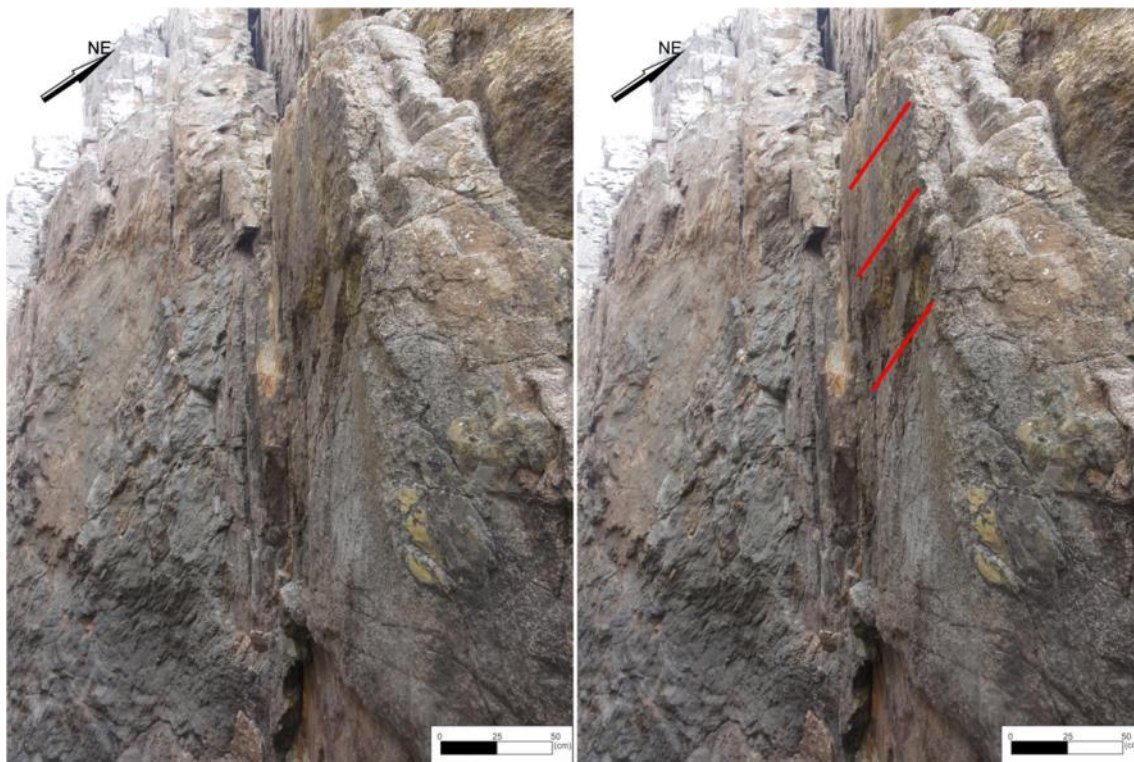


Figura 20 Afloramento de ortognaisse no interior da Fenda de Nossa Senhora no ponto 37 exibindo estrias de falha com direção NE-SW indicadas pelo traçado em vermelho. Foto: Eliane Guedes.

Fonolito e traquito correspondem aos corpos subvulcânicos frequentemente encontrados intrudindo tanto o embasamento quanto as intrusões plutônicas. Afloram como corpos tabulares contínuos subverticais ou sub-horizontais e na forma de blocos alinhados na direção NE-SW.

O fonolito apresenta textura porfírica dada por fenocristais de granulação média de álcali-feldspato e nefelina. Em alguns afloramentos foi observada a presença de estrutura de fluxo magmático imersos em matriz fina esverdeada (Figura 21). É frequentemente encontrado com uma capa de alteração de alumínio.



Figura 21 Detalhe de afloramento de fonolito no ponto 7 exibindo fenocristais de álcali-feldspato e nefelina. Foto: Eliane Guedes.

O traquito é uma rocha de coloração esbranquiçada e granulação fina, sem fenocristais visíveis. O afloramento mais marcante é encontrado no contato com a brecha vulcânica (Figura 22). Ele é um corpo contínuo de forma tabular que se alojou em um plano de falha com orientação NE-SW que tem continuidade até um espelho de falha próximo à Ponta do Oratório (vide mapa, Anexo 2 e figura 23).

Na costa oeste, aflora um corpo traquítico semelhante aos diques, cujo diferencial são manchas avermelhadas de alteração de ferro presentes por toda a sua superfície (Figura 24). Sua abrangência para o interior da Ilha não foi mapeada devido à vegetação densa e terreno acidentado, o que impossibilita transitar pela área. Desta forma, restringiu-se a área total do corpo apenas à porção que pode ser acessada na costa por barco, inferindo-se o contato com o nefelina sienito.



Figura 22 Afloramento de dique de traquito no contato entre a brecha vulcânica e o nefelina sienito no ponto 14. Foto: Eliane Guedes.

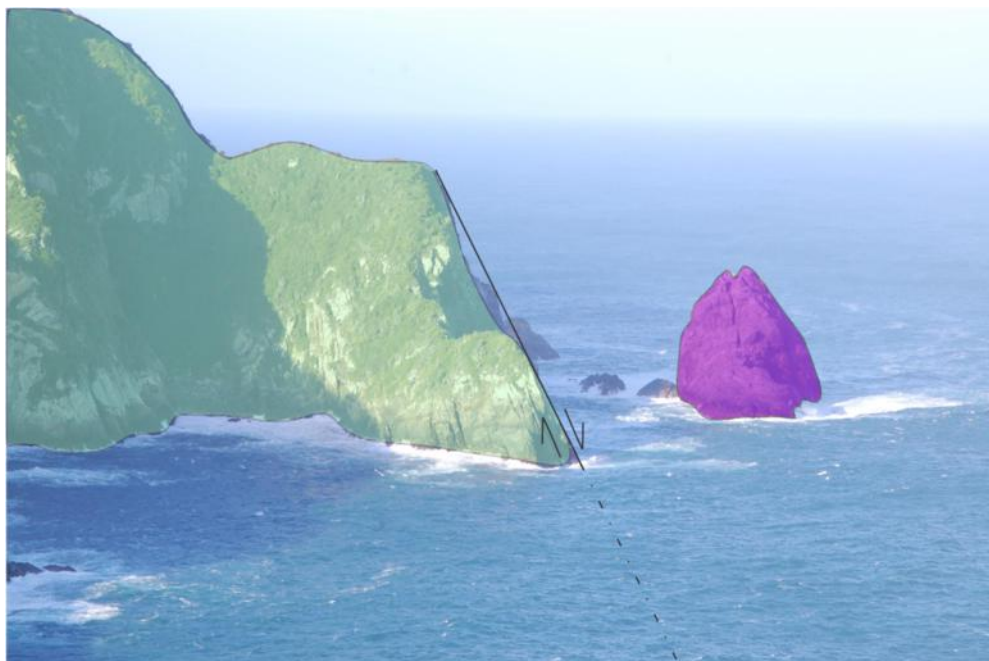


Figura 23 Vista no ponto 14 para a Ponta do Oratório. Deste local, é possível observar o espelho de falha formado pela falha do localizada neste ponto, onde se aloja o dique de traquito da figura anterior. O esquema de cores segue a legenda do mapa geológico. Foto: Eliane Guedes.



Figura 24 Afloramento de traquito na costa oeste da Ilha. A cor avermelhada é em decorrência da formação de óxidos e hidróxidos de ferro. Foto: Eliane Guedes.

A brecha vulcânica aflora na região sudeste da Ilha, no entorno do Farol Novo. Seus afloramentos incluem paredões próximos à construção, escarpas e lajedos, comumente alterados para óxidos e hidróxidos de ferro. Litoclastos de ortognaisse, fonolito e traquito, além de cristaloclastos de quartzo e feldspato compõem o arcabouço clasto suportado da brecha (Figura 25). Os clastos são angulosos, de tamanho *lappili* e estão imersos em uma matriz fina, composta por argilominerais e óxidos de ferro. Litoclastos das rochas plutônicas mapeadas não foram encontradas nem estruturas de fluxo são exibidas.



Figura 25 Detalhe de afloramento do ponto 27 de brecha vulcânica. Podem-se notar diversos litoclastos angulosos de traquito de cor esbranquiçada. Foto: Eliane Guedes.

6 PETROGRAFIA

A descrição das lâminas delgadas foi feita no microscópio *Zeiss*, modelo *Axioskop 40*, do Museu Nacional/UFRJ, onde também foram preparadas. Ao todo, foram descritas 27 lâminas referentes aos litotipos da Ilha, englobando seis de nefelina sienito, cinco de álcali-feldspato sienito, três de sienito, duas de monzonito, quatro de traquito, três de fonolito, duas do xenólito no nefelina sienito, uma de brecha vulcânica e uma de ortognaisse. As composições modais obtidas nas lâminas das rochas plutônicas e do embasamento são mostradas na tabela 1.

Tabela 1 Composição Modal das rochas alcalinas plutônicas, dos xenólitos no nefelina sienito e do ortognaisse da Ilha do Cabo Frio. Os valores apresentados correspondem à média obtida a partir de cinco visadas em cada lâmina petrográfica, expressa em porcentagem (%). Legenda: Afs - Álcali-feldspato Sienito; Bt - Biotita; Cpx – Clinopiroxênio; Ne – Nefelina; Pl – Plagioclásio; Qz – Quartzo; Acessórios correspondem ao somatório de apatita, titanita e minerais opacos; * - contagem feita com anfibólio.

Lâmina	Nº do Ponto	Ne	Qz	Afs	Pl	Cpx	Bt	Acessórios	Classificação	Simbologia
AC-01	1	0	0	50,6	25	8,8	11,8	3,8	Sienito	▽
AC-07	2	11	0	76	0	8	0	5	Nefelina Sienito	△
AC-SFG-07	2	14,4	0	73,2	0	12,4	0	<1	Nefelina Sienito	△
AC-SFF-07	2	14,6	0	77	0	8,4	0	<1	Nefelina Sienito	△
AC-EN-07	2/17	0	0	0	36,6	52*	3,6	7,8	Gabro	■
AC-MAF-39	15	0	0	0	72,8	15	7,2	5	Gabro	■
AC-SMG-47	23	0	0	14,2	23,8	13,03	27,26	21,71	Monzonito	◇
AC-59	13	0	0	80	0	3	4,6	12,4	Álcali-feldspato Sienito	○
AC-SN-60	25	0	0	86,6	0	3,6	7,8	2	Álcali-feldspato Sienito	○
AC-66	30	0	0	78,4	0	2,2	14	5,4	Álcali-feldspato Sienito	▽
AC-67	31	0	0	55,8	23,6	10,8	6,2	3,6	Sienito	▽
AC-68	32	0	0	55,6	15,4	13,8	11,4	3,8	Sienito	▽
AC-72	36	0	0	42,4	36,2	13,6	1,6	6,2	Monzonito	◇
AC-73	37	0	22,6	39	31,4	0	7,8	<1	Monzogranito	◻
AC-95	40	73,75	0	21,25	0	4	0	1	Nefelina Sienito	△
AC-98	43	13,4	0	79,4	0	7,2	0		Nefelina Sienito	△
AC-101	46	11,6	0	82	0	6,4	0	<1	Nefelina Sienito	△
AC-103	48	0	0	88,8	0	6,2	3,2	2,8	Álcali-feldspato Sienito	○
AC-103-GA	48	0	0	86,4	0	9	0	4,6	Álcali-feldspato Sienito	○

A composição média dos minerais essenciais de cada litotipo foi recalculada para 100% para classificar as amostras nos diagramas de Streckeisen (1967) para rochas constituídas por quartzo, plagioclásio, álcali-feldspato ou feldspatoide (diagrama QAPF, Figura 26) e para rochas gabroicas (Figura 27).

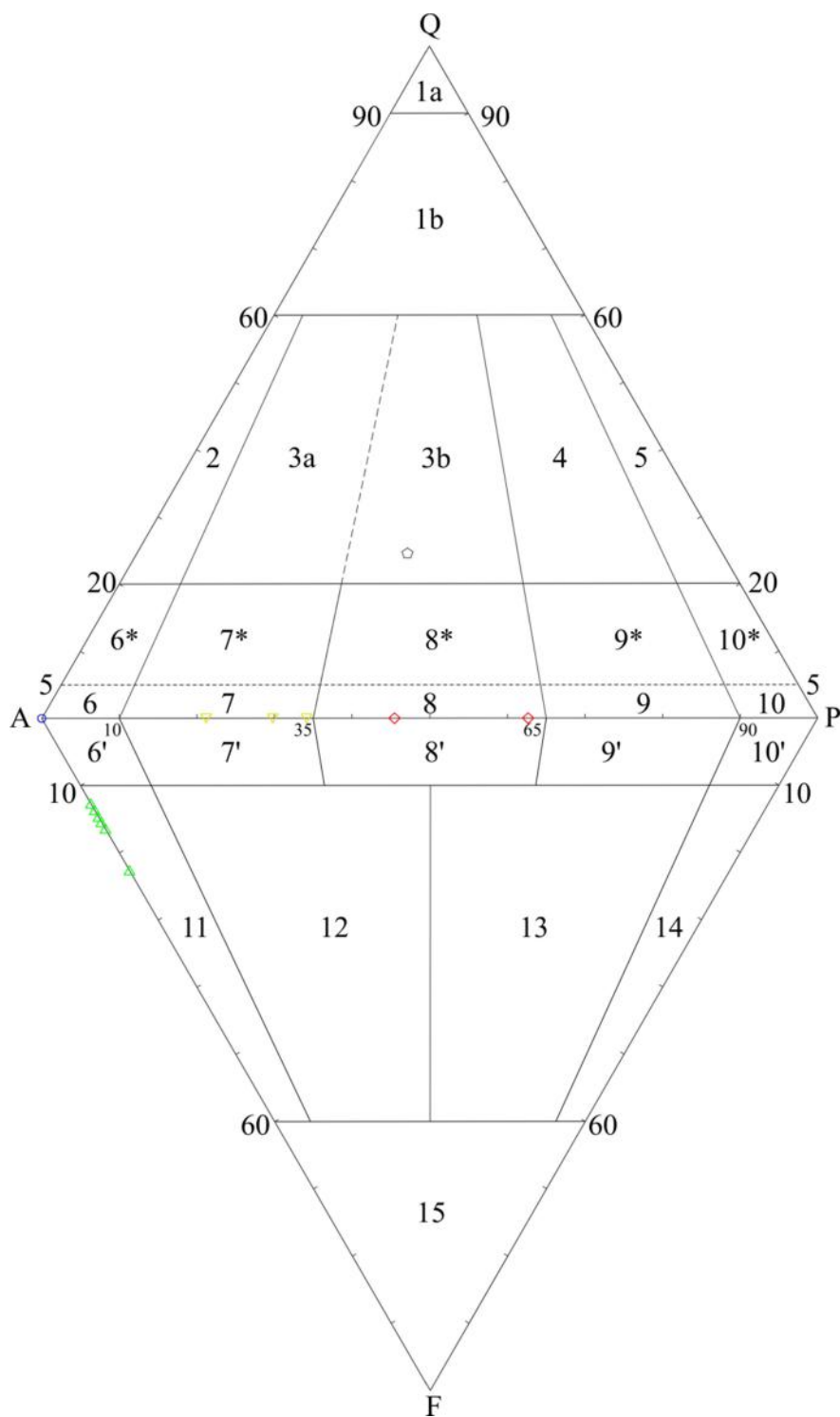


Figura 26 Diagrama QAPF de Streckeisen (1967) para as rochas alcalinas plutônicas e o ortogneisse da Ilha do Cabo Frio. 1a – Quartzolito; Granitoides ricos em quartzo; 2 - Álcali granito; 3a - Sienogranito; 3b - Monzogranito; 4 - Granodiorito; 5 – Tonalito; 6* - Álcali-quartzo sienito; 7* - Quartzo sienito; 8* - Quartzo monzonito; 9* - Quartzo monzodiorito; 10* - Quartzo diorito; 6 – Álcali-feldspato sienito; 7 – Sienito; 8 – Monzonito; 9 – Monzodiorito; 10 – Diorito; 6’ – Álcali-feldspato sienito com nefelina; 7’ – Sienito com nefelina; 8’ – Monzonito com nefelina; 9’ – Monzodiorito com nefelina; 10’ – Diorito com nefelina; 11 – Nefelina Sienito; 12 – Nefelina monzosienito; 13 – Nefelina monzodiorito; 14 – Nefelina diorito; 15 – Nefelinito. Símbolos estão de acordo com a Tabela 1.

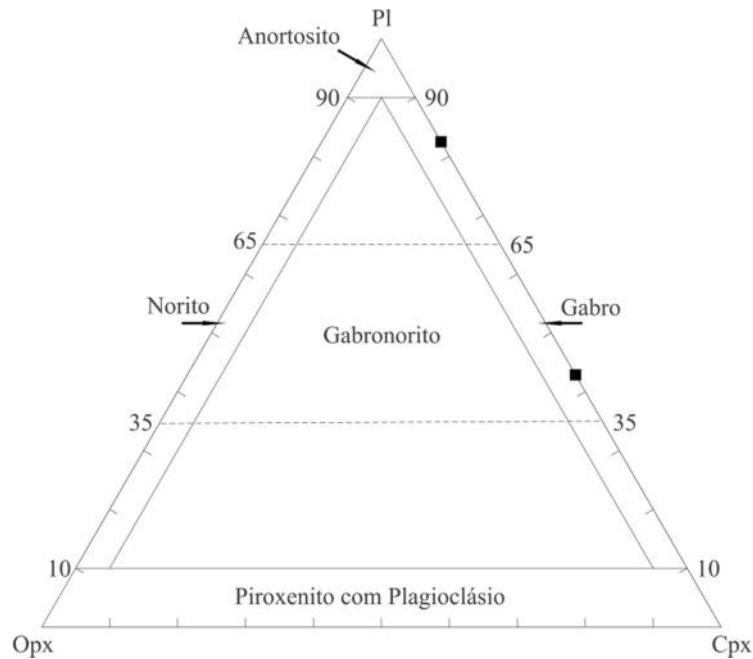


Figura 27 Diagrama de classificação de rochas gabroicas de Streckeisen (1967), com vértices dados por Clinopiroxênio (Cpx), Ortopiroxênio (Opx) e Plagioclásio (Pl). Neste diagrama, os xenólitos foram classificados como gabro e leucogabro. Símbolos estão de acordo com a Tabela 1.

6.1 Ortognaisse

O ortognaisse é uma rocha hololeucocrática xenomórfica, com textura porfirítica dada por fenocristais de quartzo, plagioclásio e álcali-feldspato. Estes são de granulação média enquanto a matriz é fina, com cristais de dimensões até 0.5 mm, composta por esses mesmos minerais, além de opacos e piroxênio e biotita, os quais compõem a fase máfica (Figura 28).

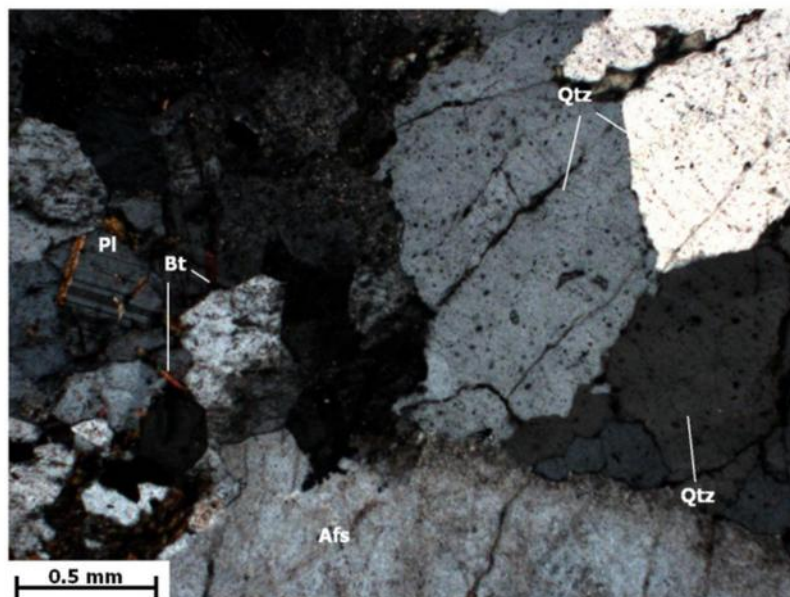


Figura 28 Fotomicrografia em nicóis cruzados do afloramento de ortognaisse na Fenda de Nossa Senhora. Pode-se observar a presença de quartzo poligonal, plagioclásio, álcali-feldspato e biotita secundária. Amostra: Ponto 37. Legenda: Afs – álcali-feldspato; Bt – Biotita; Pl – Plagioclásio; Qtz – Quartzo.

O quartzo se apresenta fraturado e com extinção ondulante, enquanto que os cristais de feldspato são prismas curtos de bordas arredondadas, pouco alterados para sericita. A biotita ocorre frequentemente como inclusão no feldspato em forma de ripas pleocroicas finas.

6.2 Nefelina Sienito

O nefelina sienito apresenta textura inequigranular porfirítica, por vezes equigranular, de granulação fina a média e índice de cor leucocrática. Essencialmente, é formada por álcali-feldspato e nefelina, com aegirina-augita, opacos, apatita, titanita e zircão como a mineralogia acessória.

O álcali-feldspato é do tipo albita e ocorre como cristais tabulares de bordas retas com geminação *chessboard albite* e, por vezes, em cruz (Figura 29). Formas curtas e irregulares também estão presentes. Caulinita e sericita recobrem esses cristais. Titanita e apatita podem ocorrer inclusas neste mineral.

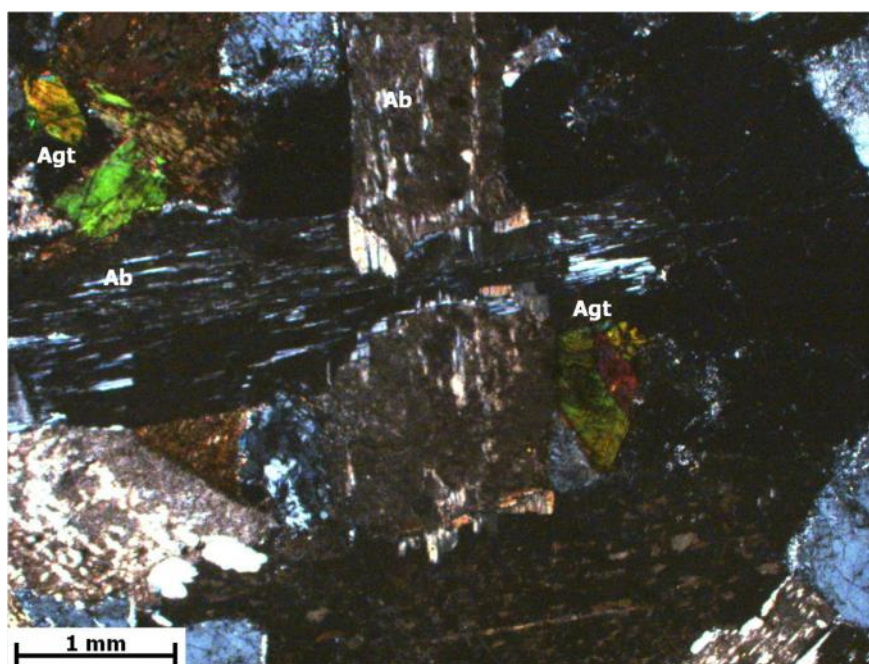


Figura 29 Fotomicrografia em nicóis cruzados exibindo cristal de albita com textura em cruz e exibindo geminação *chessboard albite*. Amostra: Ponto 2. Legenda: Ab - Albita; Afs - Álcali-feldspato; Agt - Aegirina-augita; Ne - Nefelina.

A nefelina é representada por prismas curtos quadrangulares, raramente alongados, com dimensões variando entre 0,2 a 0,5 mm na matriz e 1 a 2,5 mm quando fenocristal. Os minerais máficos compõem em torno de 13% da moda, indicados por cristais pleocroicos de aegirina-augita, que adquire tons do verde escuro ao amarelo. Eles ocorrem com textura intersticial acicular, sendo formados entre os cristais em cruz de albita (Figuras 29 e 30).

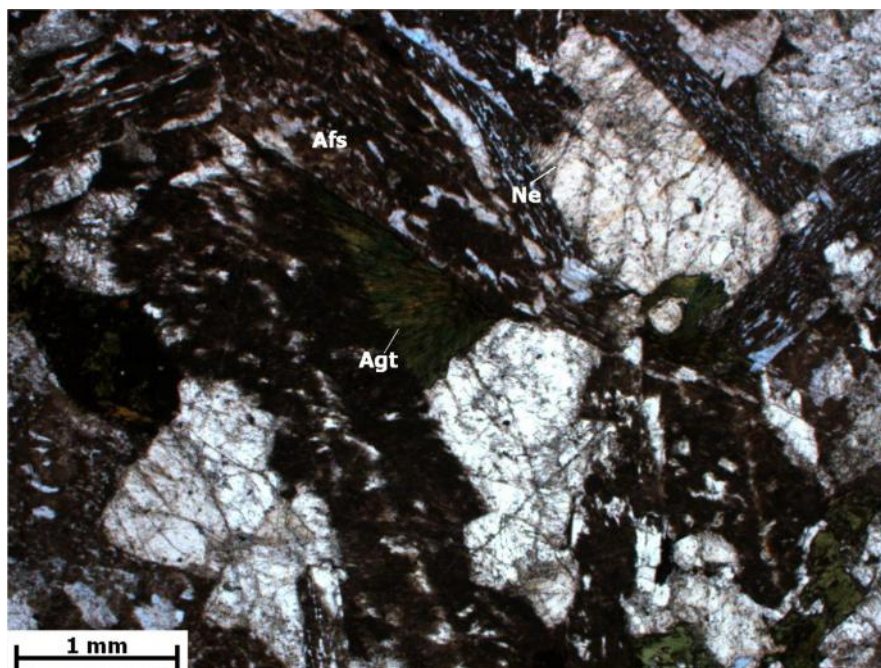


Figura 30 Fotomicrografia em nicóis cruzados exibindo textura intersticial da aegirina-augita entre os cristais tabulares de albita. Amostra: Ponto 2. Legenda: Afs: Álcali-feldspato; Agt - Aegirina-augita; Ne - Nefelina.

Outros máficos são a biotita e o anfibólio, ocorrendo como secundários a partir da alteração do clinopiroxênio.

Apatita e titanita são acessórios comuns, presentes quase que invariavelmente euédricos. A primeira com hábito prismático alongado ou exibindo a seção basal hexagonal; e a segunda exibindo forma losangular e pleocroísmo em tons castanhos.

Os enclaves são rochas faneríticas de granulação média com textura hipidiomórfica e índice de cor mesocrática. Eles são compostos por anfibólio, clinopiroxênio e plagioclásio, com apatita como mineral acessório e biotita, clorita e caulinita como fases secundárias.

Classificados como gabro, estas rochas são representadas por anfibólio pseudomorfo em clinopiroxênio, podendo-se observar também a passagem para biotita nas bordas dos grãos relictos do mesmo. O anfibólio também forma uma borda de reação com o plagioclásio formando minerais de hábito granular com relevo alto, possivelmente da família do epidoto (Figura 31). Esta reação marca a passagem de um fluido pela rocha e ele se concentrou nas bordas dos grãos, mais frequentemente no contato entre o anfibólio e o plagioclásio. Esse mesmo fluido teria propiciado a hidratação do clinopiroxênio formando o anfibólio, a biotita e processos de cloritização, associado à descompressão sofrida pelo corpo durante a sua cristalização.

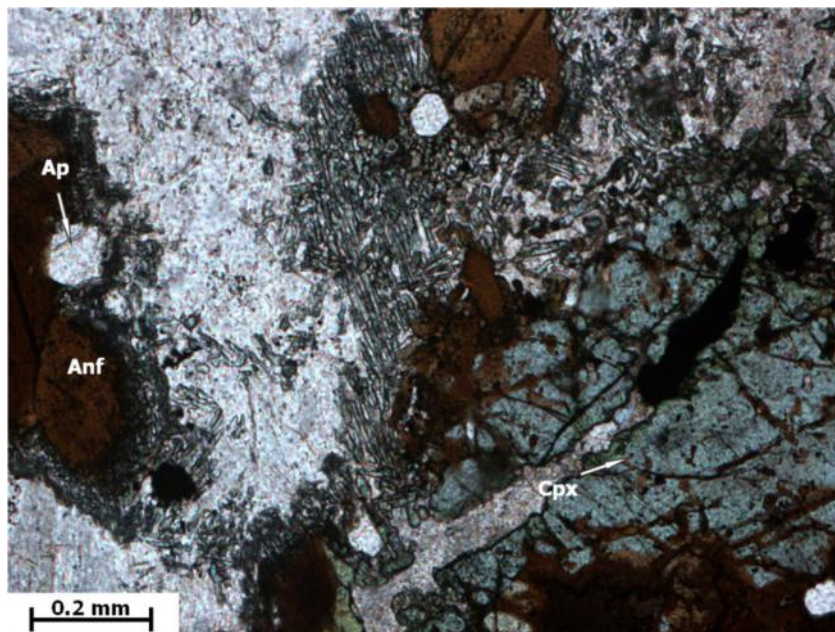


Figura 31 Fotomicrografia do enclave de hornblenda-gabro. Nesta imagem, reconhecem-se os cristais pseudomorfos de anfibólio em clinopiroxênio e um grão deste mineral cloritizado à direita. Biotita aparece na borda do grão relicto e nas fraturas. Entre o centro e o topo da figura, notam-se os minerais da família do epidoto formados pela reação entre o anfibólio e o plagioclásio pela passagem de um fluido hidrotermal. Amostra: Pontos 2 e 17. Legenda: Anf – Anfibólio; Ap – Apatita; Cpx – Clinopiroxênio.

Também foi descrito um corpo de enclave tabular com maior proporção de plagioclásio sobre o clinopiroxênio e sem as texturas de reação citadas anteriormente, classificado, então, como gabro de índice de cor leucocrático. Seus minerais acessórios incluem apatita e opacos, com biotita como produto de alteração do clinopiroxênio (Figura 32).

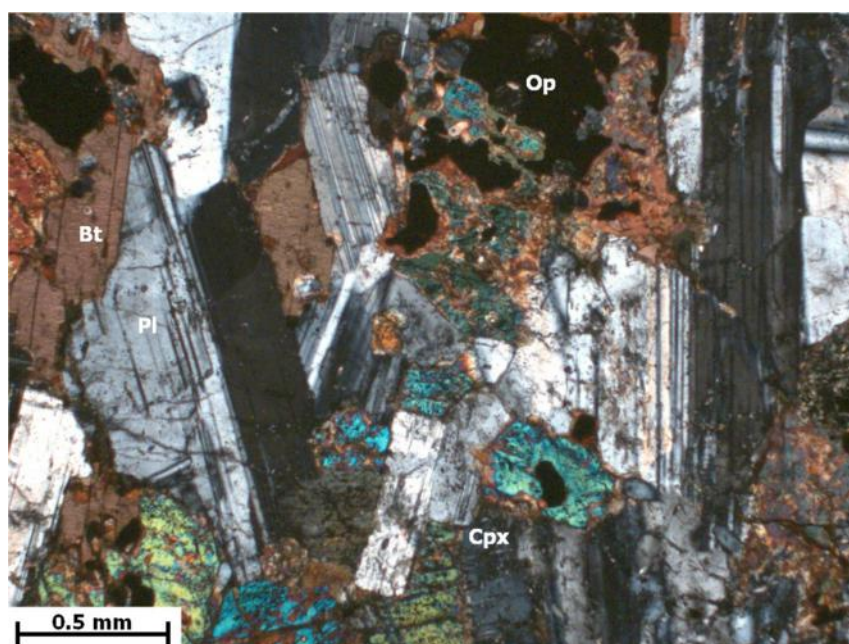


Figura 32 Fotomicrografia em nicóis cruzados de um xenólito apresentando plagioclásio e clinopiroxênio como minerais essenciais. Biotita ocorre como corona de alteração do piroxênio. Amostra: Ponto 15. Legenda: Bt - Biotita; Cpx - Clinopiroxênio; Op - Opaco; Pl - Plagioclásio.

6.3 Álcali-feldspato sienito

O álcali-feldspato sienito apresenta textura fanerítica, hipidiomórfica e inequigranular porfírica, com fenocristais de granulação média, cujas dimensões variam de 1 a 3 mm, e matriz de granulação fina.

Esta unidade é constituída por álcali-feldspato, seu único mineral essencial. A fase máfica é representada por clinopiroxênio e biotita. Demais minerais acessórios incluem apatita, titanita e opacos. Os minerais secundários são caulinita, sericita, clorita e anfibólio.

Os cristais de ortoclásio podem ocorrer como fenocristais subédricos a euédricos com hábito tabular. Suas bordas retas ou serrilhadas e inclusões de clinopiroxênio e de apatita são presentes em alguns cristais. O ortoclásio é recoberto por caulinita (Figura 33), enquanto a sericita aparece como finas ripas em seu interior.

Os cristais de clinopiroxênio apresentam hábito em ripa e são frequentemente fraturados e cloritizados, adquirindo tons esverdeados. Podem estar bordejados por biotita pleocroica de incolor a castanho avermelhado; ou passaram para anfibólio com coloração verde amarelada, nos quais os dois planos de clivagem podem ser observados.

Biotita apresenta hábito de ripa, com pleocroísmo de creme claro a castanho avermelhado. Pode ocorrer também sendo bordejado por anfibólio. A apatita apresenta hábito tabular, podendo ser encontrada inclusa em opacos ou no ortoclásio. Titanita tem ocorrência rara, constituindo menos de 1% da moda.

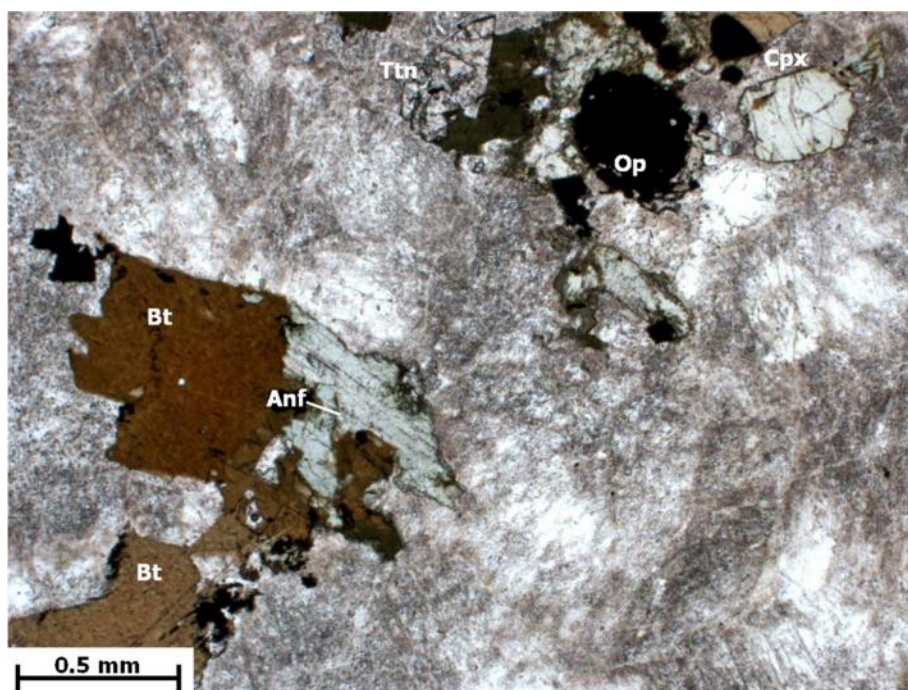


Figura 33 Fotomicrografia de álcali-feldspato sienito exibindo cristais de álcali-feldspato recobertos por caulinita, e anfibólio cloritizado com biotita nas bordas. Amostra: ponto 25. Legenda: Anf – Anfibólio; Bt – Biotita; Cpx – Clinopiroxênio; Op – Mineral opaco; Ttn – Titanita.

6.4 Sienito

Estas rochas possuem textura fanerítica, de granulação média, majoritariamente equigranular hipidiomórfica, podendo se apresentar porfírica xenomórfica. Neste caso, a matriz da rocha é fina. São constituídos por plagioclásio e álcali-feldspato, com clinopiroxênio e biotita compondo a fase máfica. Apatita, titanita e opacos estão dentre os acessórios (Figura 34).

O plagioclásio e o álcali-feldspato são anédricos a subédricos, frequentemente com inclusões de clinopiroxênio e substituídos por caulinita e ripas finas de sericita. O clinopiroxênio, por sua vez, apresenta hábito granular, concentrados em aglomerados de cristais fraturados de cor verde pálida, associados ou não à titanita ou biotita, este nas bordas, fruto de sua alteração.

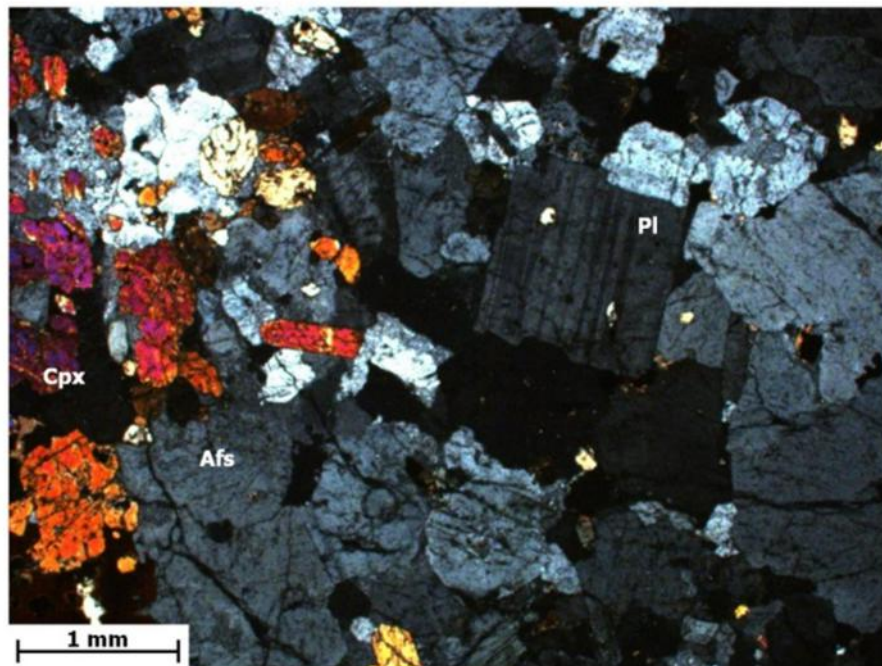


Figura 34 Fotomicrografia em nicóis cruzados de sienito exibindo cristais anédricos a subédricos de plagioclásio e álcali-feldspato, além de clinopiroxênio com hábito granular. Amostra: Ponto 32. Legenda: Afs – Álcali-feldspato; Cpx – Clinopiroxênio; Pl – Plagioclásio.

6.5 Monzonito

Este litotipo é caracterizado por fenocristais subédricos de plagioclásio, álcali-feldspato e clinopiroxênio de granulação média. Biotita, apatita, titanita e opacos são seus acessórios. Biotita também pode ocorrer como alteração de anfíbólio, que, por sua vez, é proveniente da hidratação do piroxênio.

Os cristais de feldspato apresentam bordas irregulares, ocupando o espaço remanescente da cristalização dos demais minerais. Eles não contêm inclusões e apresentam

sericita e caulinita de alteração. O clinopiroxênio apresenta pleocroísmo incipiente, variando de incolor a creme claro. Os cristais são bastante fraturados, não apresentando um padrão definido (Figura 35A). Titanita e apatita são cristais euédricos com hábito losangular e prismático respectivamente. Opacos podem conter titanita em corona, indicando se tratarem de ilmenita (Figura 35B). A biotita possui pleocroísmo avermelhada, revelando seu enriquecimento em titânio

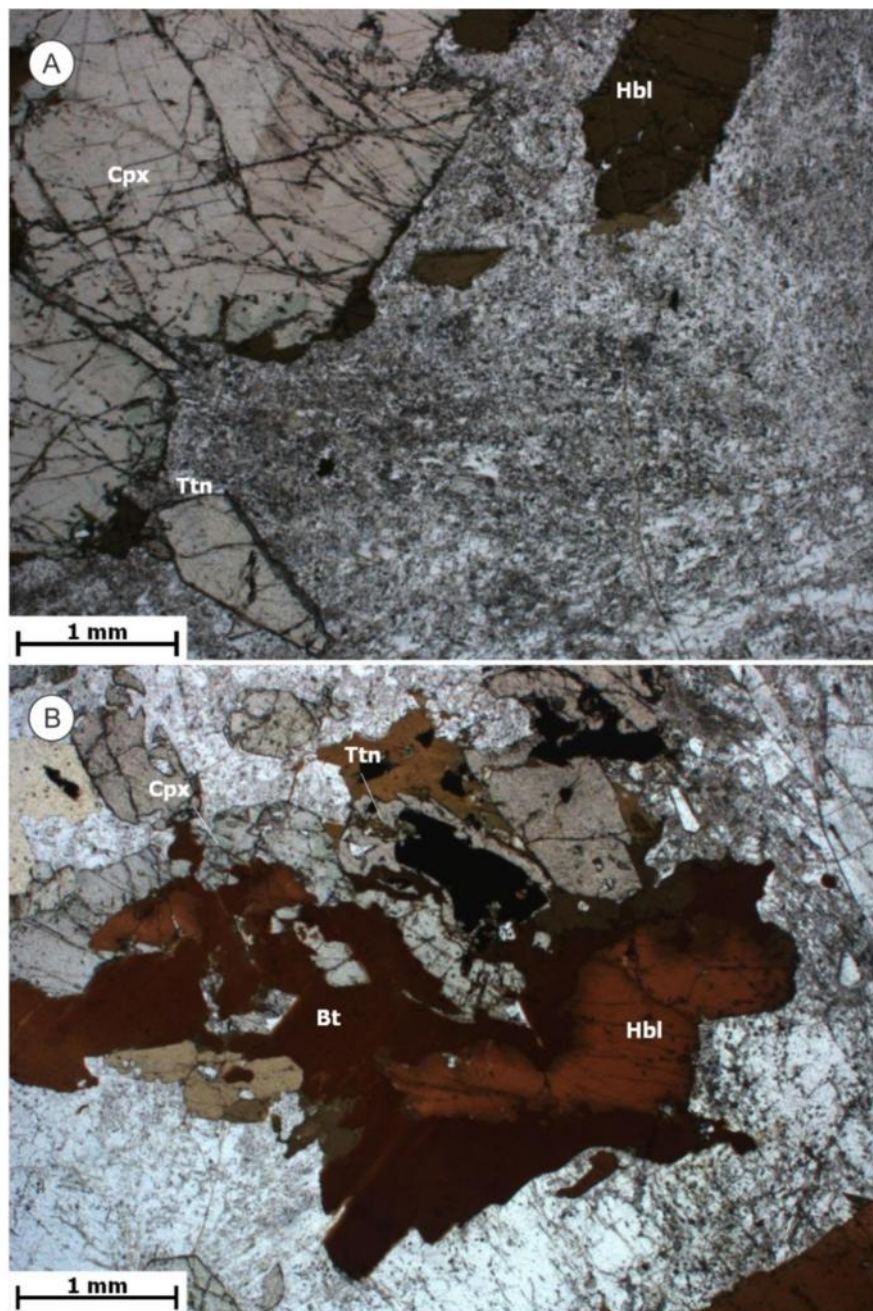


Figura 35 Fotomicrografias do monzonito. A) Foto em nicóis paralelos mostrando fenocristais de clinopiroxênio com bordas esverdeadas de substituição por anfibólio, titanita e hornblenda. Amostra: Ponto 36. B) Foto em nicóis paralelos mostrando coronas de biotita em hornblenda e de titanita em opaco. Amostra: Ponto 23. Legenda: Bt – Biotita; Cpx - Clinopiroxênio; Hbl – Hornblenda; Ttn – Titanita.

6.6 Fonolito

O fonolito é uma rocha afanítica porfírica, caracterizada por fenocristais de álcali-feldspato, nefelina, aegirina-augita e titanita imersos em uma matriz cristalina muito fina mineralogicamente semelhante.

O álcali-feldspato e a nefelina formam a textura glomeroporfírica a partir do aglomerado de fenocristais euédricos de hábito quadrangular (Figura. 36). Podem conter inclusões de aegirina-augita e titanita subédricas. Franjas de recristalização são observadas nas bordas de alguns cristais de feldspato (Figura 37).

A aegirina-augita é caracterizada por cristais pleocroicos de cores verde escura a amarela. Os fenocristais apresentam hábito euédrico pseudo-hexagonal, enquanto que os cristais da matriz são aciculares. Os grãos de titanita são euédricos losangulares com pleocroísmo em tons castanhos (Figura 38).

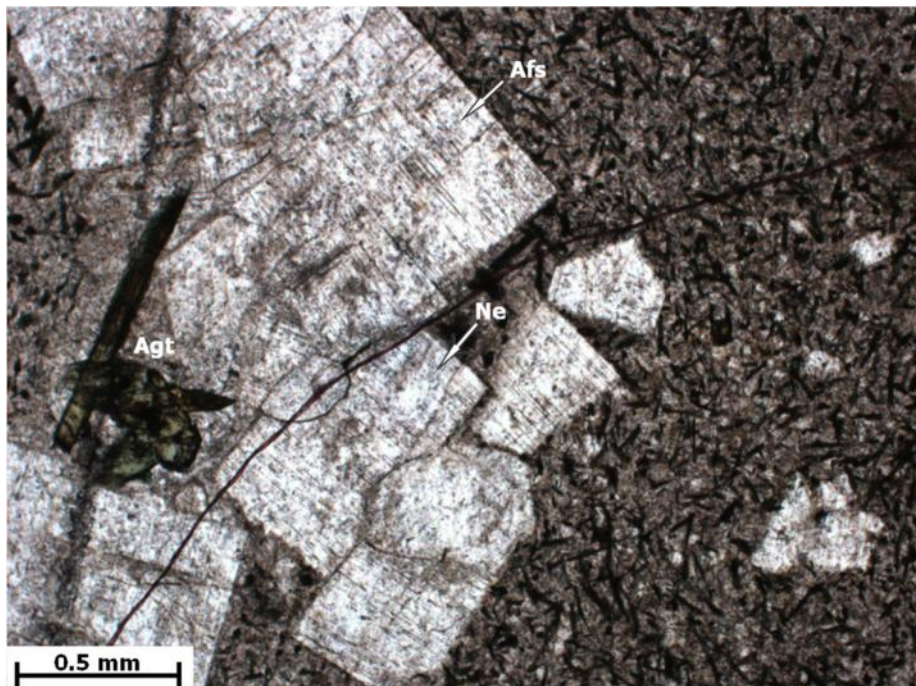


Figura 36 Fotomicrografias em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo. A imagem exibe a textura glomeroporfírica formada por fenocristais de nefelina e álcali-feldspato. Amostra: Ponto 4. Legenda: Afs: Álcali-feldspato; Agt: Aegirina-augita; Ne: Nefelina.

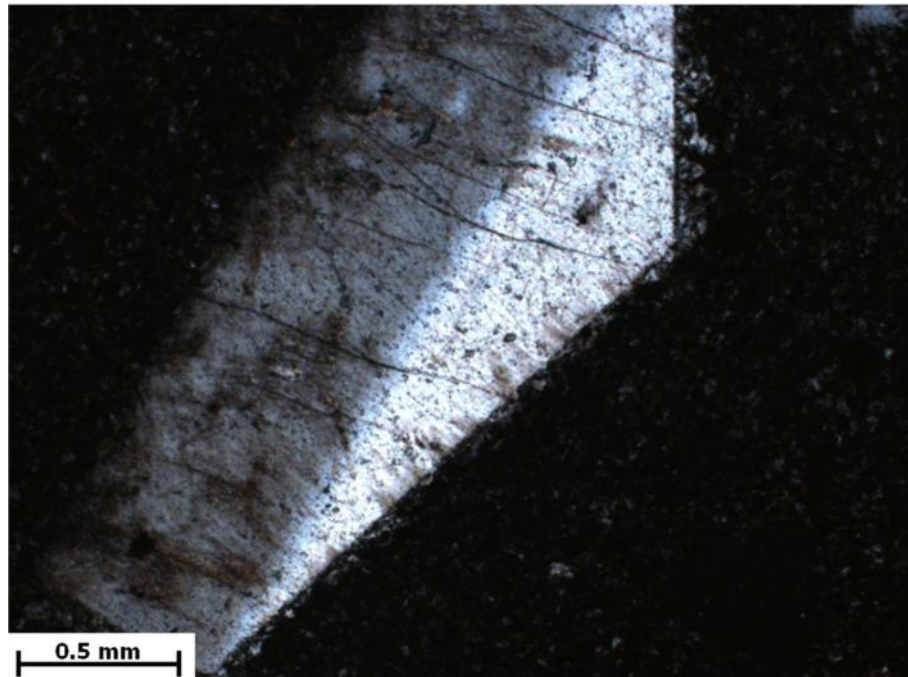


Figura 37 Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo em nicóis cruzados. Esta imagem mostra um fenocristal euédrico geminado de álcali-feldspato com franja de recristalização nas bordas. Amostra: Ponto 9.



Figura 38 Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito na trilha para o Farol Novo em visão ortoscópica. Esta imagem mostra o equilíbrio de cristalização entre os fenocristais euédricos de titanita e aegirina-augita. Amostra: Ponto 4. Legenda: Agt: Aegirina-augita; Ttn: Titanita.

6.7 Traquito

Esta rocha possui textura microfanerítica e inequigranular seriada, composta majoritariamente por álcali-feldspato, cujos cristais orientados conferem textura traquítica a ela (Figura 39A). Minerais opacos ocorrem como acessórios. Caulinita e, mais raramente,

sericita ocorrem substituindo o feldspato. O primeiro aparece recobrando os cristais, enquanto que o segundo aparece nas bordas e no interior do grão.

O álcali-feldspato se apresenta como cristais tabulares curtos, subédricos a euédricos de granulação fina, com dimensões até 0,5 mm. No afloramento de traquito que ocorre na borda leste da ilha, os minerais opacos apresentam bordas de óxidos e hidróxidos de ferro, indicando serem a fonte da alteração avermelhada observada em campo (Figura 39B).

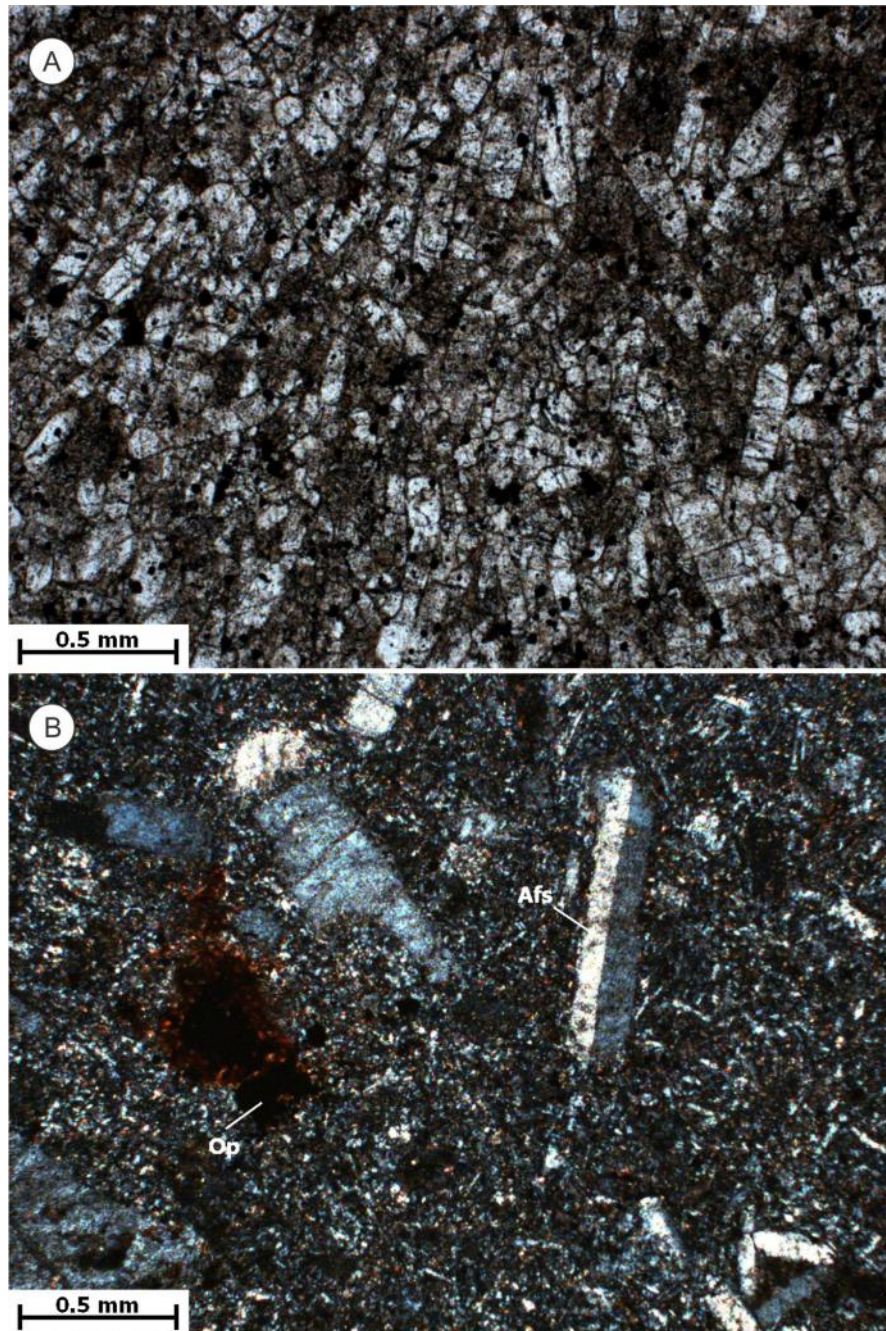


Figura 39 A) Fotomicrografia em nicóis cruzados de cristais de álcali-feldspato no traquito com textura traquítica. Amostra: Ponto 14. B) Fotomicrografia em nicóis cruzados de traquito mostrando fenocristais de álcali-feldspato geminados e opaco com borda de óxido de ferro imersos em matriz fina composta por micrólitos de feldspato e opacos. Amostra: Ponto 50. Legenda: Afs – Álcali-feldspato; Op – Opaco.

6.8 Brecha Vulcânica

Litoclastos de ortognaisse (Figura 40A), traquito (Figura 40B) e fonolito, além de cristaloclastos de quartzo e álcali-feldspato, todos de variados tamanhos e angulosos, podem ser observados em meio à matriz fina composta por opacos e sericita de origem secundária. A sericita presente nesta matriz é fruto da alteração dos cristais de feldspato que compõem os clastos. Nota-se também a ausência de vidro vulcânico na rocha.

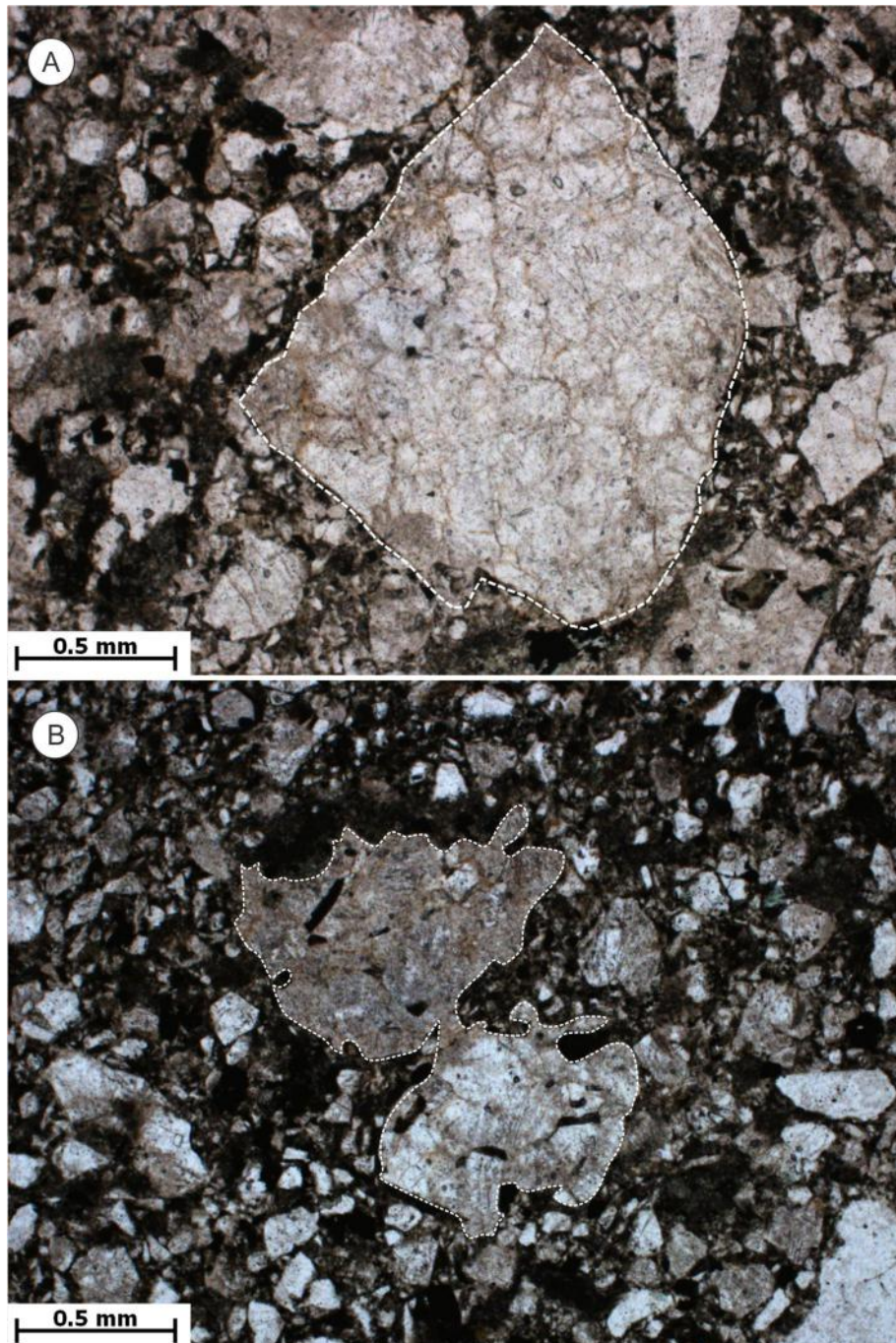


Figura 40 Fotomicrografias da brecha vulcânica. A) Litoclasto anguloso de ortognaisse envolto por cristaloclastos de quartzo e feldspato. B) Litoclasto de traquito. Amostras: Ponto 26.

7 GEOLOGIA ESTRUTURAL

Este capítulo tem como objetivo descrever as diferentes estruturas tectônicas presentes na área de estudo e correlacionar as ocorrências destas com a colocação dos corpos ígneos intrusivos. Tanto na região da Ilha do Cabo Frio quando na área costeira adjacente foram observadas diversas fraturas e falhas, além da foliação tectônica presente nas rochas do embasamento Paleoproterozoico.

A área de ocorrência de rochas do Pré-Cambriano é restrita à entrada do canal do Boqueirão, o qual consiste em uma estrutura de idade mais jovem (Dias *et al.*, 2014), à costa sudeste e à Ponta do Oratório. Devido à baixa densidade de afloramentos de embasamento acessíveis na Ilha do Cabo Frio, a análise desses planos foi realizada no Pontal do Atalaia, onde, além do ortognaisse, também afloram intrusões alcalinas félsicas, tais como traquito e fonolito.

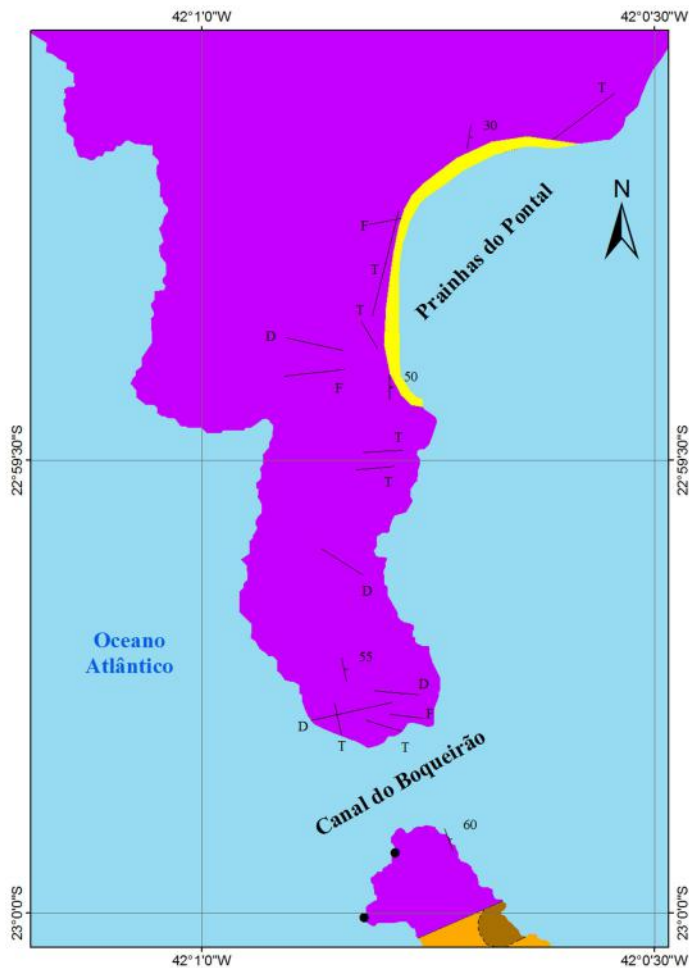
7.1 Aspectos de campo

A figura 41 mostra um mapa geológico básico do centro-sul do Pontal do Atalaia com a localização das intrusões observadas na área. Nota-se que esta feição geomorfológica é formada inteiramente por ortognaisse, com intrusões variadas em diversas direções. Elas correspondem a diabásio, fonolito e traquito.

O ortognaisse é composto por quartzo, feldspato e biotita agrupados em uma banda félsica e separados de uma máfica, constituída por piroxênio, anfibólio e plagioclásio (Figura 42). Sua textura metamórfica apresenta variações, havendo porções onde essas bandas estão mais bem definidas e outras onde a rocha se assemelha a um metagranitoide de baixo grau metamórfico.

Outra fácies dessa unidade é representada por litotipos com textura porfírica com fenocristais centimétricos orientados de plagioclásio, podendo apresentar ou não enclaves máficos alongados paralelamente a estes cristais. Sua matriz é composta principalmente por biotita com hábito placóide e álcali-feldspato, também paralelos aos fenocristais (Figura 43).

Todos esses corpos possuem forma tabular contínua, uns mais e outros menos intemperizados. O diabásio apresenta cor preta com textura afanítica (Figura 44). O fonolito, semelhantemente aos corpos da Ilha, apresenta coloração esverdeada na matriz e fenocristais orientados de nefelina e feldspato (Figura 45). O traquito, da mesma maneira, possui coloração esbranquiçada, sem fenocristais visíveis (Figura 46), frequentemente com fraturas preenchidas por óxidos de ferro de alteração deutérica.



Mapa Geológico do Centro-Sul do Pontal do Atalaia

Autor: Felipe Martins de Oliveira

Legenda

- Diques (D - Diabásio/ F- Fonolito
T - Traquito)
- Sedimentos de Praia
- Monzonito
- Sienito
- Ortognaisse

Convenções

- Contato
- - - Contato Inferido
- Falha Normal
- Diques Subhorizontais
- Atitude do Bandamento Gnaissico



Escala 1:5.200
 Datum: WGS84
 Declinação Magnética: 22°59'W
 Variação Anual: 0°5'

Figura 41 Mapa Geológico do Centro - Sul do Pontal do Atalaia exibindo o embasamento de ortognaisse intrudido por diques de fonolito, traquito e diabásio com orientações NE-SW, E-W e NW-SE.



Figura 42 Afloramento de ortogneisse exibindo o bandamento gnaissico. Foto: Eliane Guedes.



Figura 43 Afloramento de ortogneisse porfirítico com fenocristais de plagioclásio imersos em matriz foliada composta por biotita e feldspato localizado na ponta norte das Prainhas do Pontal. Foto: Eliane Guedes.



Figura 44 Afloramento de diabásio próximo ao Boqueirão, no Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.



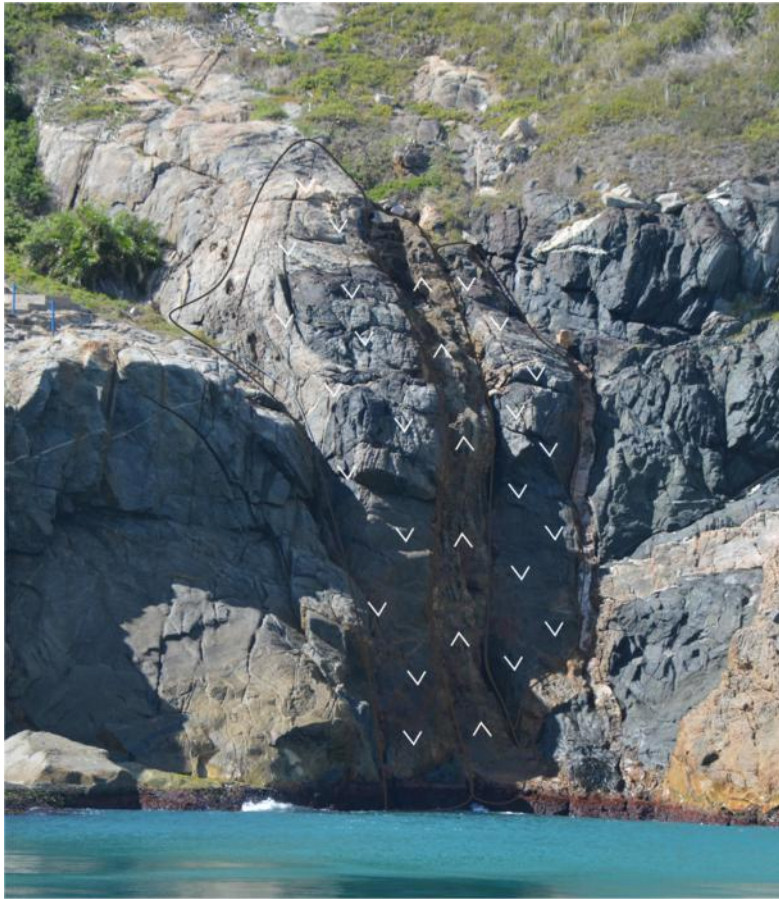
Figura 45 Afloramento de fonolito localizado no Boqueirão, extremo sul do Pontal do Atalaia, exibindo estrutura de fluxo magmático. Foto: Eliane Guedes.



Figura 46 Afloramento de traquito com mudança de direção de intrusão pela barreira formada pelo dique de diabásio, localizado no Boqueirão, extremo sul do Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.

Os corpos subvulcânicos da região apresentam diferentes dimensões, desde centimétricos a métricos, tabulares retilíneos ou com bordas irregulares, inclusive em padrão zigue-zague. Corpos verticais e sub-horizontais também foram identificados. Os diques alcalinos e toleíticos cortam entre si, mostrando gerações diferentes de intrusão, podendo também traçar a cronologia relativa entre eles.

Os diques de diabásio são as intrusões mais antigas dentre as três relatadas neste trabalho. Diques de fonolito e traquito cortam este corpo ou são embarreirados por ele, como mostrado na figura 46. Os outros dois litotipos são contemporâneos, visto que eles se entrecortam. É possível também que haja duas gerações de traquito pelo fato de haver dois corpos desta unidade que se intrudem, como observado no afloramento do canal do boqueirão da figura 11. Outro fato curioso é a ocorrência de um dique cortando um segundo pelo seu interior (Figura 47).



- ⤴ Dique de Traquito
- ⤵ Dique Máfico

Figura 47 Afloramento de traquito intrudido no interior de dique máfico a norte da Praia Brava, na costa oeste do Pontal do Atalaia. Foto: Eliane Guedes.

As estruturas tectônicas observadas englobam o bandamento gnáissico, fraturas, falhas e dobra de pequeno porte. O bandamento, marcado pela intercalação de bandas máficas e félsicas, é uma estrutura planar de médio ângulo, podendo se apresentar vertical. Uma única ocorrência de dobra foi observada a sul da Praia Grande, cujo eixo é sub-vertical.

As fraturas são de dimensões centimétricas a dezenas de metros, formando ou não espaçamento e/ou rejeito entre os blocos formados. Em alguns planos de falha, sobressaltos foram observados indicando a direção e sentido do falhamento (Figura 48).



Figura 48 Indicadores cinemáticos de falha normal em afloramento de ortognaisse.

7.2 Estereogramas e Diagramas de Rosetas

Ao todo, foram medidos 13 planos da atitude do bandamento gnaissico, 87 de fratura e 23 de diques de litologias variadas e os valores estão apresentados, respectivamente nas tabelas 4, 5 e 6 no Anexo 3. Esses dados foram plotados na rede de Lambert-Schmidt para a confecção de estereogramas e ciclos de densidade de projeção de polos com o objetivo de verificar o comportamento dessas estruturas e associá-lo ao mecanismo de intrusão das rochas da Ilha do Cabo Frio e das áreas continentais adjacentes. Este procedimento foi feito com o auxílio do programa *OpenStereo* 0.2.1.

A foliação tectônica do ortognaisse apresenta atitude geral para leste, com pequenas variações em sua atitude mostrada pela menor frequência de planos para ENE e ESE (Figura 49).

Quatro famílias de fraturas foram identificadas pela densidade de projeção de polos: N-S; E-W; NE-SW e NW-SE (Figura 50 A a D). A exceção da última, as demais famílias possuem planos com mergulho para direções opostas, formando pares conjugados, cuja maior quantidade de planos medidos possui direção NE-SW.

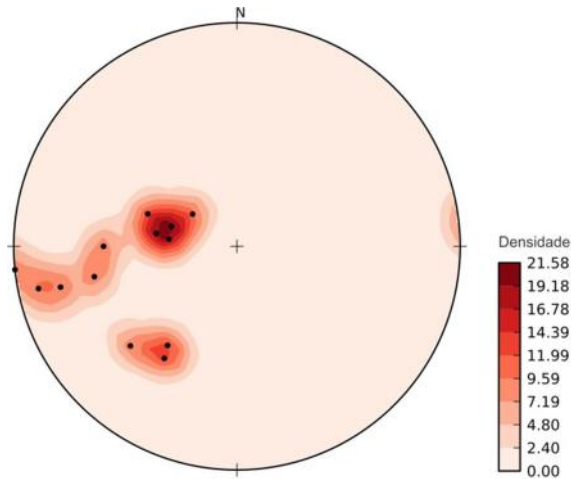


Figura 49 Densidade de projeção de polos dos planos do bandamento gnáissico no Pontal do Atalaia. Nota-se que a atitude da foliação é marcadamente para leste de médio a alto ângulo.

Essas diferentes orientações controlam as intrusões de mais de um tipo de dique, assim como a foliação. Tal relação pode ser facilmente observada a partir das projeções das figuras 51 A a D, que remete à atitude de parte dos diques mapeados na Ilha do Cabo Frio e no Pontal do Atalaia. Neste caso, também é possível reconhecer os mesmos tipos de família encontrados para as fraturas. Bem como nota-se que há diques com semelhante orientação e mergulho ao bandamento gnáissico.

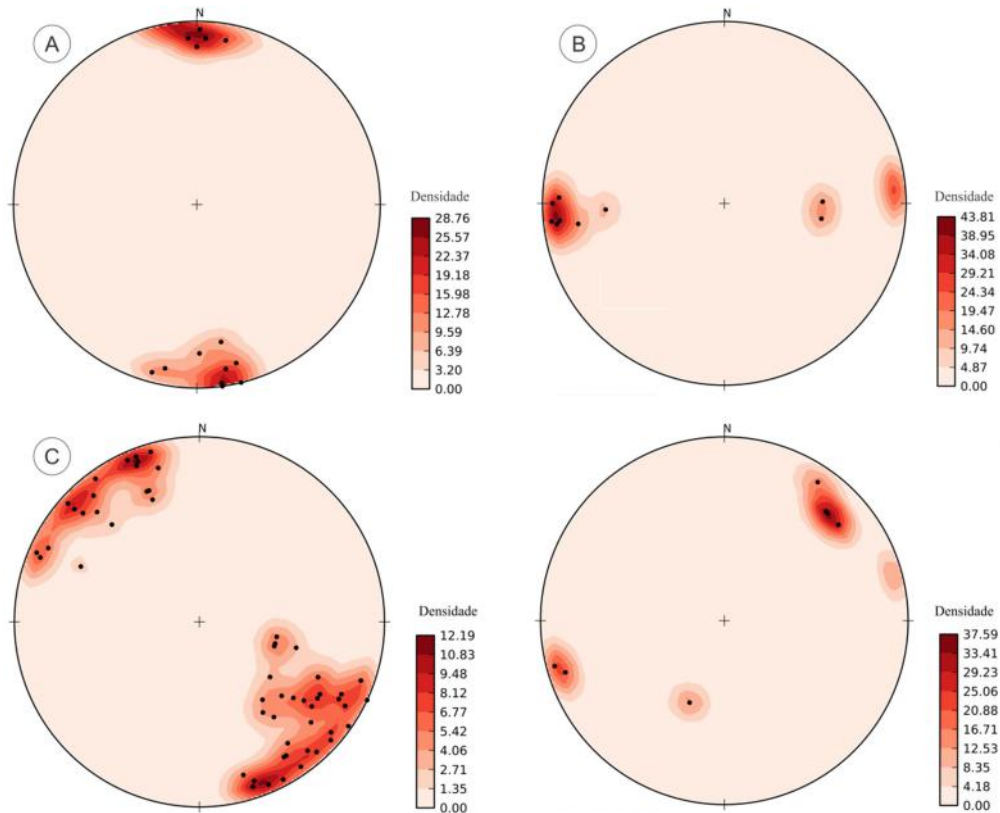


Figura 50 Projeções na rede de Schimdt-Lambert de densidade de polos para as diferentes famílias de fraturas. A) Família E-W. B) Família N-S. C) Família NE-SW. D) Família NW-SE.

Desta forma, entende-se que as intrusões estão intrinsicamente ligadas às estruturas tectônicas reativadas. Estas formam zonas de fraqueza que permitem o fluido percolar pelo embasamento e intrudir as rochas alcalinas mapeadas na Ilha.

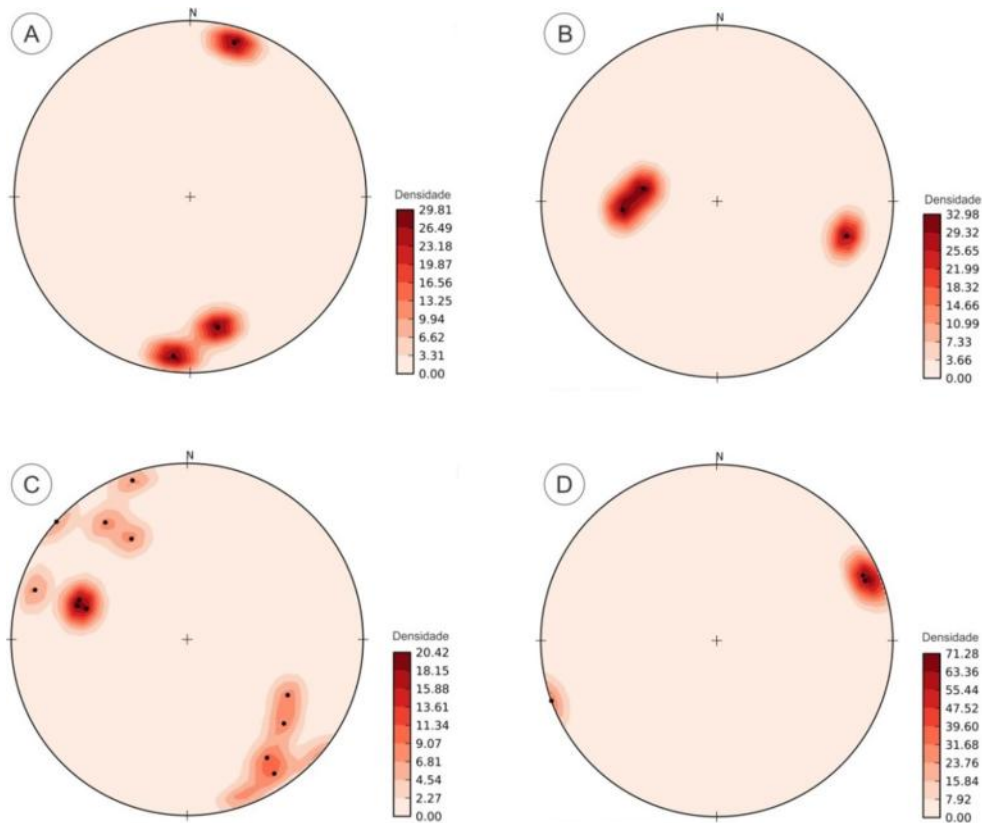


Figura 51 Diagrama de densidade de projeção de polos para diques do Pontal do Atalaia e da Ilha do Cabo Frio. A) Família E-W. B) Família N-S. C) Família NE-SW. D) Família NW-SE.

Dois planos de falha, de orientação NE-SW, foram identificados na área de estudo. Eles representam o contato entre o ortognaisse e o monzonito e entre o álcali-feldspato sienito e a brecha vulcânica. O primeiro é marcado por estrias oblíquas na escarpa da Fenda de Nossa Senhora, que indicam movimentação vertical e lateral entre os blocos, supostamente causando o soerguimento do ortognaisse em relação à alcalina (Figura 20).

O segundo plano citado foi inferido tendo em vista a relação genética de cada corpo com o nível crustal. O nefelina sienito se formou em uma zona crustal mais profunda do que a brecha vulcânica, cuja gênese é interpretada por Sichel *et al.* (2008) como fruto da atividade eruptiva do magma nefelina sienítico. Adiciona-se a essa questão o fato de não haver litoclastos das rochas plutônicas da Ilha na brecha, indicando que tal atividade vulcânica não as intrudiu. Logo, o nível crustal de sua formação é mais raso do que da câmara magmática. Assim, para que a brecha vulcânica e o nefelina sienito estejam posicionados lado a lado, fora necessário uma atividade tectônica que os deslocasse e os posicionasse como tal.

8 LITOGEOQUÍMICA

A análise química de rocha total foi realizada no *Activation Laboratories Ltda.* (ActLabs), localizado em Ontário, Canadá, através do método de ICP (*Inductively Coupled Plasma*) acoplado a um espectrômetro de massa. Os resultados incluem dados de elementos maiores (em % de peso), traços e elementos terras raras (ambos em ppm).

Com o auxílio do programa GCDKit 4.00, os resultados obtidos foram dispostos em gráficos de classificação, diagramas bivariantes para elementos maiores, menores e traços; e diagramas multielementares. A partir desta metodologia, pretende-se interpretar as características químicas dos diferentes litotipos, reconhecendo-se *trends* evolutivos e como tais aspectos se refletem na mineralogia descrita anteriormente.

8.1 Critério de seleção das amostras

O critério utilizado para a seleção das amostras que seriam enviadas para a análise geoquímica se baseou em dois princípios:

- 1) O total de amostras deveria contemplar a variedade litológica alcalina descrita na Ilha do Cabo Frio;
- 2) A amostra deveria possuir lâmina petrográfica com descrição completa.

Ao todo, foram analisadas onze amostras, com exceção da brecha e do gnaisse do embasamento, sendo duas de nefelina sienito, duas de sienito, uma de monzonito, uma de álcali-feldspato sienito, duas de traquito, uma de fonolito e duas de xenólitos de gabro.

Apesar de não haver indícios de caráter alcalino simplesmente com a descrição petrográfica, as amostras de gabro foram selecionadas para verificar a relação genética entre elas e a rocha encaixante.

Critérios para validação da análise química incluem os valores máximo e mínimo de total de elementos maiores, que variam de 99% a 101%; e o valor de corte para a Perda ao Fogo (P.F.), que corresponde a 1,1% (Rollison, 1993). Valores de P.F. acima do corte indicariam que a amostra sofreu um processo intempérico mais intenso, o que teria causado a remobilização dos elementos químicos móveis, com consequente modificação do dado real. Os resultados das análises litogeoquímicas estão expostas na tabela 7 do Anexo 4. A tabela 2 abaixo exhibe o código das amostras selecionadas, com suas respectivas litologias, coordenadas e simbologia adotada nos diagramas elaborados.

Dentre as onze amostras escolhidas, apenas uma satisfaz estas condições. Tendo em vista o caráter alcalino da associação litológica em questão, espera-se que teores de P.F. sejam

mais elevados e que os teores de elementos representativos sejam menores em decorrência da maior concentração de voláteis e de elementos menores (traços e terras raras). Desta maneira, as demais amostras também foram incluídas na análise. Entretanto, ressalta-se os valores de P.F. maiores que 2 podem estar destacando níveis mais acentuados de alteração. Assim, torna-se necessário o uso de diagramas que utilizem elementos menos móveis para uma interpretação mais plausível dos resultados.

Tabela 2 Listagem de amostras da geoquímica, com seus respectivos código, número do ponto de mapeamento, litologia, coordenadas e simbologia:

Código da amostra	Nº do Ponto	Litologia	Latitude	Longitude	Simbologia
AC-01	1	Sienito	-23,003111	-42,006817	▽
AC-SFG-07	2	Nefelina Sienito	-22,999076	-42,003426	△
AC-EN-07	2	Gabro	-22,999076	-42,003426	■
AC-TP-11	4	Fonolito	-23,005028	-42,006521	×
AC-DQ-23	14	Traquito	-23,009917	-42,000037	+
AC-MAF-39	15	Gabro	-22,999283	-42,003267	■
AC-SMG-47	23	Monzonito	-23,002016	-42,010570	◇
AC-SN-60	25	Álcali-feldspato sienito	-23,007359	-42,002872	○
AC-SN-68	32	Sienito	-23,002676	-42,007645	▽
AC-95	43	Nefelina Sienito	-22,99161	-41,995800	△
AC-106	51	Traquito	-22,98758	-41,993820	+

8.2 Interpretação dos resultados

As litologias representativas da área apresentam teor de SiO₂ entre 44,22% e 61,99%, além de 39,72% e 43,46% para os xenólitos máficos. Desta forma, as primeiras variam de básicas a intermediárias, enquanto que as últimas são ultrabásicas.

São rochas com afinidade alcalina, corroborada pela norma CIPW (Anexo 4 – Tabela 8), que apresenta nefelina e/ou olivina normativas. Entretanto, três amostras apresentam baixos valores de quartzo e hiperstênio normativos, indicando serem supersaturadas em sílica. O nefelina sienito é classificado também como pertencente à série miaskítica por apresentar valores de (Na₂O+K₂O)/Al₂O₃ menores que 1 (Tabela 3; Sorensen, 1974). Quanto ao caráter potássico, a figura 52 mostra que as amostras félsicas são plotadas no campo da série potássica.

Tabela 3 Valores de (Na₂O+K₂O)/Al₂O₃ para as amostras de nefelina sienito. Os valores abaixo de 1 indicam caráter miaskítico destas rochas.

Código da amostra	Número do ponto	(Na ₂ O+K ₂ O)/Al ₂ O ₃
AC-SFG-07	2	0,754816956
AC-95	43	0,733600401

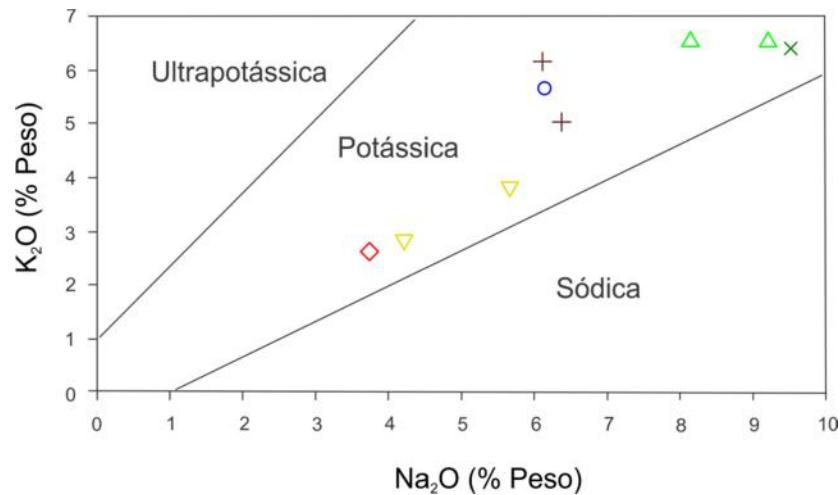


Figura 52 Gráfico de Na_2O vs K_2O para as amostras de rochas alcalinas fêlsicas da Ilha do Cabo Frio. Este gráfico mostra que a Ilha é uma associação de rochas potássicas, com correlação positiva entre as variáveis.

As rochas dessa série alcalina podem ser classificadas geoquimicamente pelo diagrama de Le Bas *et al.* (1986) em fonolitos, traquitos, traquiandesitos, traquibasalto, basanita e foidito (Figura 53). Não se considera coerente com a petrografia a classificação das amostras AC-EN-07 e AC-SMG-47, plotadas no campo do foidito e basanita, respectivamente. Desta forma, estas classificações foram descartadas para tais amostras, sendo necessários outros métodos para melhor identificá-la.

As amostras AC-SFG-07 e AC-TP-11 não se encontram neste diagrama, devido ao alto valor de álcalis que ambas possuem, extrapolando o limite máximo do gráfico.

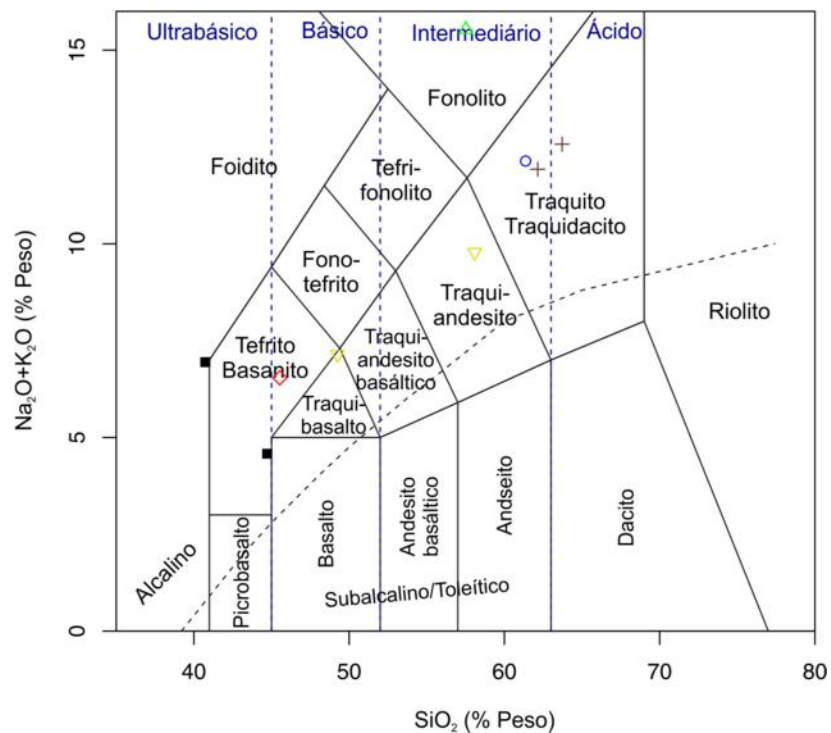


Figura 53 Diagrama TAS de Le Bas *et al.* (1986) para as amostras da Ilha do Cabo Frio. Este diagrama demarca o caráter alcalino para todas elas.

. O diagrama de Cox *et al.* (1979; Figura 54) se mostrou uma ferramenta mais lógica para classificar as amostras. Este diagrama identifica nefelina sienito, sienitos, gabros e ijolito. Entretanto, semelhantemente ao diagrama anterior, a classificação da amostra AC-EN-O7 como ijolito não condiz com a petrografia, que a define como gabro. Assim, esta classificação também é desconsiderada.

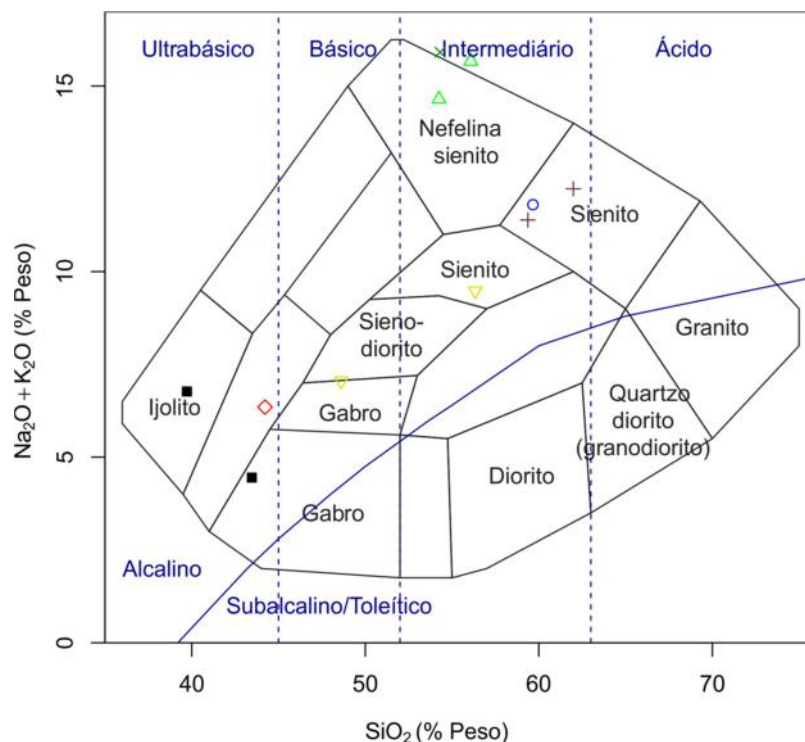


Figura 54 Diagrama de Cox et al. (1979) para as amostras da Ilha do Cabo Frio. Este diagrama é coerente com a classificação anterior, plotando as amostras nos campos de nefelina sienito, sienito, monzonito e monzogabro.

Os diagramas bivariantes foram elaborados utilizando a SiO_2 como abscissa (Figuras 55 e 56). Este óxido foi escolhido devido ao seu uso rotineiro no tratamento de dados geoquímicos de rochas félsicas.

Primeiramente, foram analisados os elementos maiores, por assim dizer Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 e P_2O_5 (Figura 55). Os diversos gráficos apontam para três conjuntos de rocha formando séries distintas, cada qual com seu próprio *trend* linear, sem inflexões ou grande dispersão dos pontos. Estes grupos são aqui divididos informalmente em A, B e C, como se segue abaixo, para auxiliar na interpretação destes gráficos.

- 1) Grupo A – Constituído por nefelina sienito, fonolito e traquito;
- 2) Grupo B – Engloba sienito, monzonito e álcali-feldspato sienito;
- 3) Grupo C – Corresponde aos xenólitos de gabro.

O grupo A apresenta teores superiores de Al_2O_3 , Na_2O e K_2O e inferiores Fe_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 e P_2O_5 em comparação com os grupos B e C. Tal aspecto se deve ao

fracionamento de minerais constituídos em Na e K em detrimento daqueles que possuem Ca em sua estrutura.

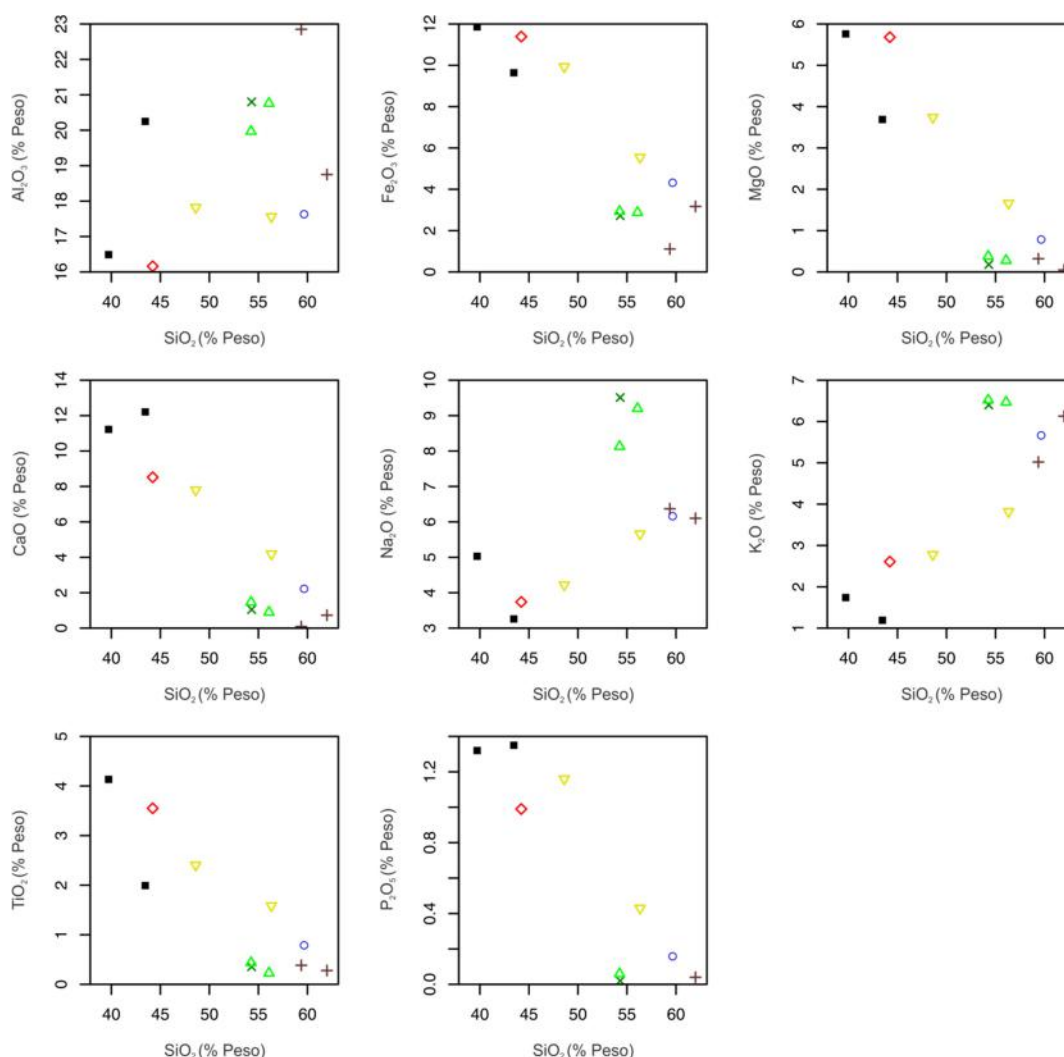


Figura 55 Diagramas bivariantes de óxidos (em % de peso) *versus* Sr (em ppm) para as rochas da Ilha do Cabo Frio. Simbologia está de acordo com a tabela 1,

A cristalização de álcali-feldspato, nefelina e albita condiciona o aumento do teor de álcalis e de alumínio no grupo A, por serem abundantes em tais elementos. Por outro lado, o fracionamento de minerais ricos em Ca, como plagioclásio, apatita e titanita, assume papel mais importante na cristalização dos grupos B e C. O baixo teor de Al₂O₃ nestes dois grupos é entendido pela ausência de nefelina nos litotipos.

Ca e Ti podem ser correlacionados pelo fracionamento da titanita. Enquanto que este mineral é escasso no grupo A, nos grupos B e C sua abundância é maior. O mesmo é válido para Ca e P, que são representados pela apatita. Ti também é presente na biotita presente nestes dois grupos.

Ca, Fe e Mg são correlacionados pelo fracionamento de um clinopiroxênio diferente nos grupos B e C, não caracterizado no presente trabalho. A aegirina-augita presente no grupo A é alcalino, sendo abundante em álcalis.

A figura 56 exibe os diagramas de variação para o elementos traços Ba, Sr, Y, Zr, Rb, La, Ce *versus* SiO₂.

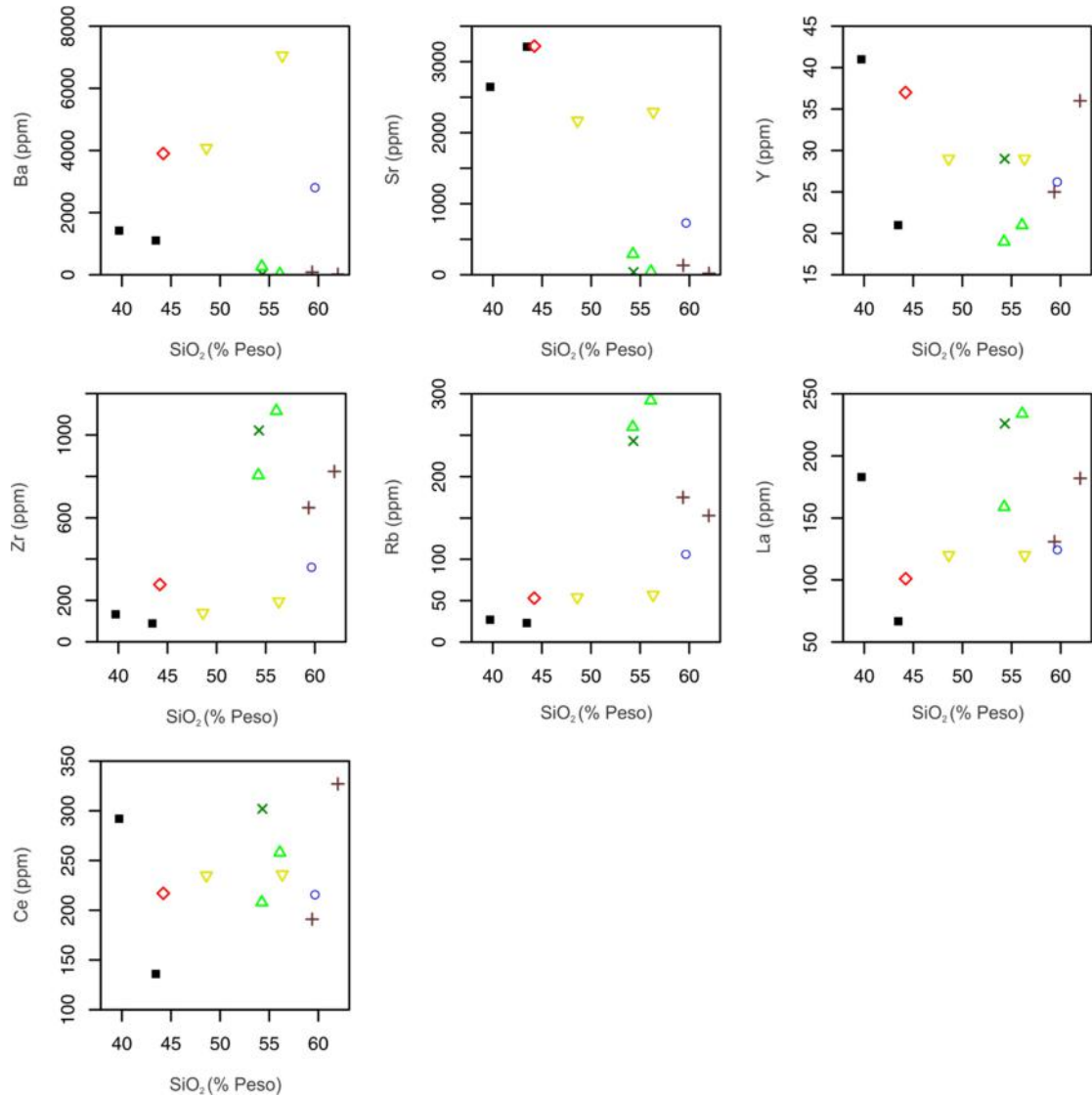


Figura 56 Diagramas bivariantes para os elementos traços (em ppm) *versus* SiO₂ (em % de peso) para as rochas da Ilha do Cabo Frio. Simbologia está de acordo com a tabela 1.

Os diagramas para Ba, Y e Sr exibem maiores teores para os grupos B e C do que para o grupo A. O elevado teor de Ba indica que, conforme o magma vai evoluindo, ele vai se enriquecendo neste elemento por ser muito incompatível devido ao seu alto raio iônico. Devido à compatibilidade com o Ca, o enriquecimento de Sr ocorre ao substituir o Ca na estrutura do plagioclásio presente nestes dois grupos apenas.

Rb se faz presente em abundância no grupo A por estar associado a minerais ricos em K, como a nefelina e o álcali-feldspato.

A dispersão dos pontos das amostras nos gráficos do Ce e do Y representa enriquecimento destes elementos por contaminação através da assimilação de outras rochas.

Os dados geoquímicos também foram plotados em diagramas multielementares para analisar o comportamento dos elementos traços, os quais foram normalizados para o manto primitivo (McDonough & Sun, 1995; Figura 57); e dos elementos terras raras (ETR), normalizados para o condrito (Nakamura, 1974; Figura 58). Em cada figura, os diagramas foram dispostos na ordem dos grupos de A a C. O agrupamento de amostras adotado nestes gráficos reiteram as três séries observadas anteriormente.

Os *trends* apontam para um enriquecimento dos elementos de grande raio iônico (LILE) em relação aos elementos de alto potencial iônico (HFSE). Em outras palavras, há a maior abundância relativa de elementos incompatíveis sobre os compatíveis, característica típica de magmas alcalinos (Sorensen, 1974).

Na figura 57A, é possível observar depressões em Ba, Ti e Sr. Isto foi interpretado como a retenção de plagioclásio na fonte, que seria o responsável pela compartimentação destes elementos na rocha. A depressão em P pode ser entendida da mesma maneira tratando-se, neste caso, da apatita. Em contrapartida, a figura 57B apresenta pico proeminente para Ba e um pequeno para Sr, mostrando o fracionamento de plagioclásio nessas rochas.

Os diagramas multielementares de ETR (Figura 58) mostram um padrão de enriquecimento nos elementos terras raras leves (ETRL) em relação aos pesados (ETRP). Para as rochas com nefelina modal (Figura 58A), seu padrão é côncavo, indicado pela maior concentração dos ETRP do que os intermediários. Isto evidenciaria a cristalização de uma fase enriquecida em ETRP como apatita, titanita e zircão. Já para as rochas saturadas (Figura 58B), seu padrão é gradualmente decrescente, com pico em Eu, indicando o fracionamento de plagioclásio. O padrão para os enclaves é gradualmente decrescente, com discreta anomalia positiva para Eu (Figura 58C).

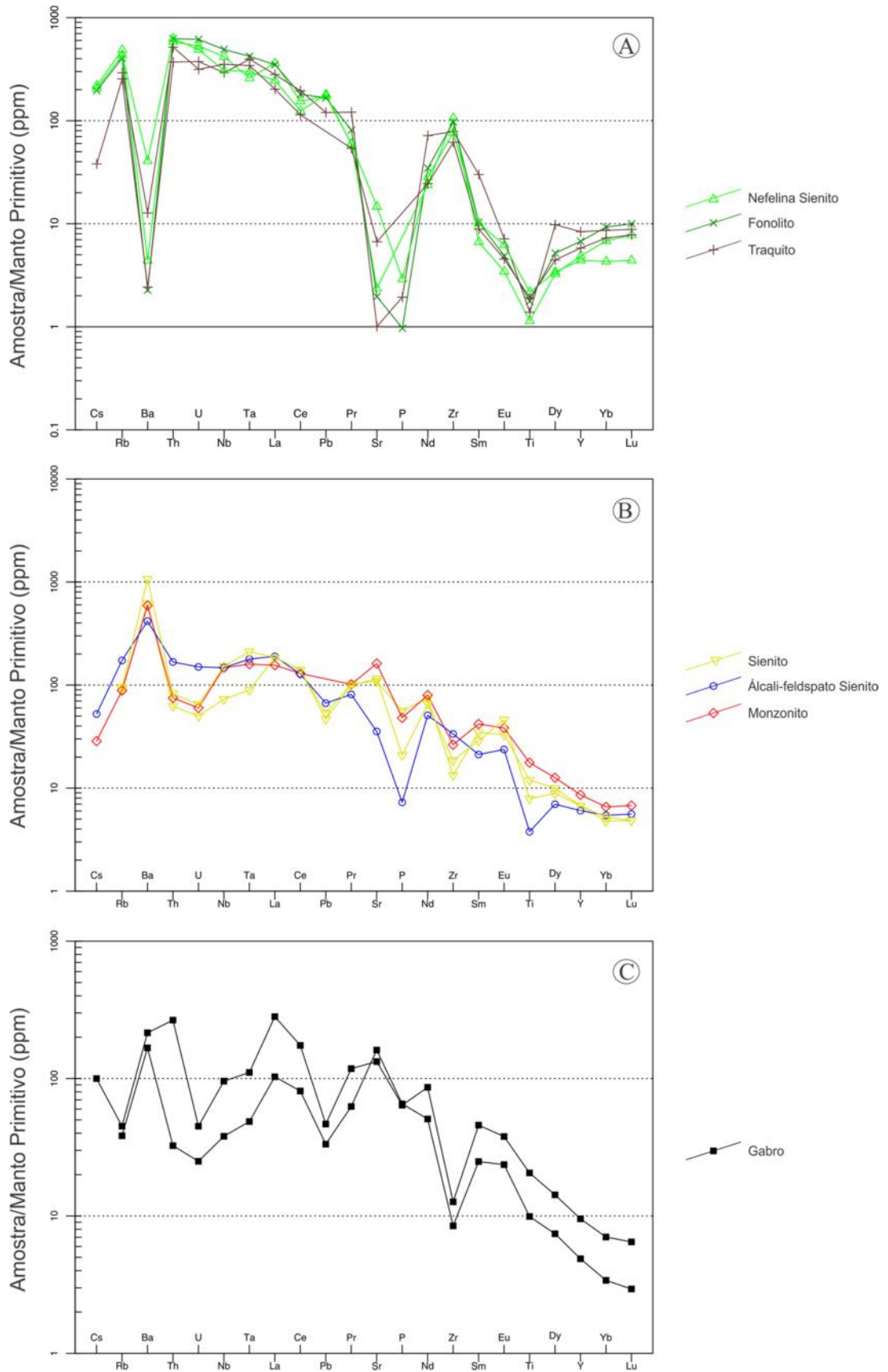


Figura 57 Diagramas multielementares de elementos traços normalizados para o manto primitivo (McDonough & Sun, 1995). A) Amostras de nefelina sienito, fonolito e traquito (Grupo A). B) Amostras de sienito, monzonito e traquito (Grupo B). C) Amostras dos enclaves (Grupo C).

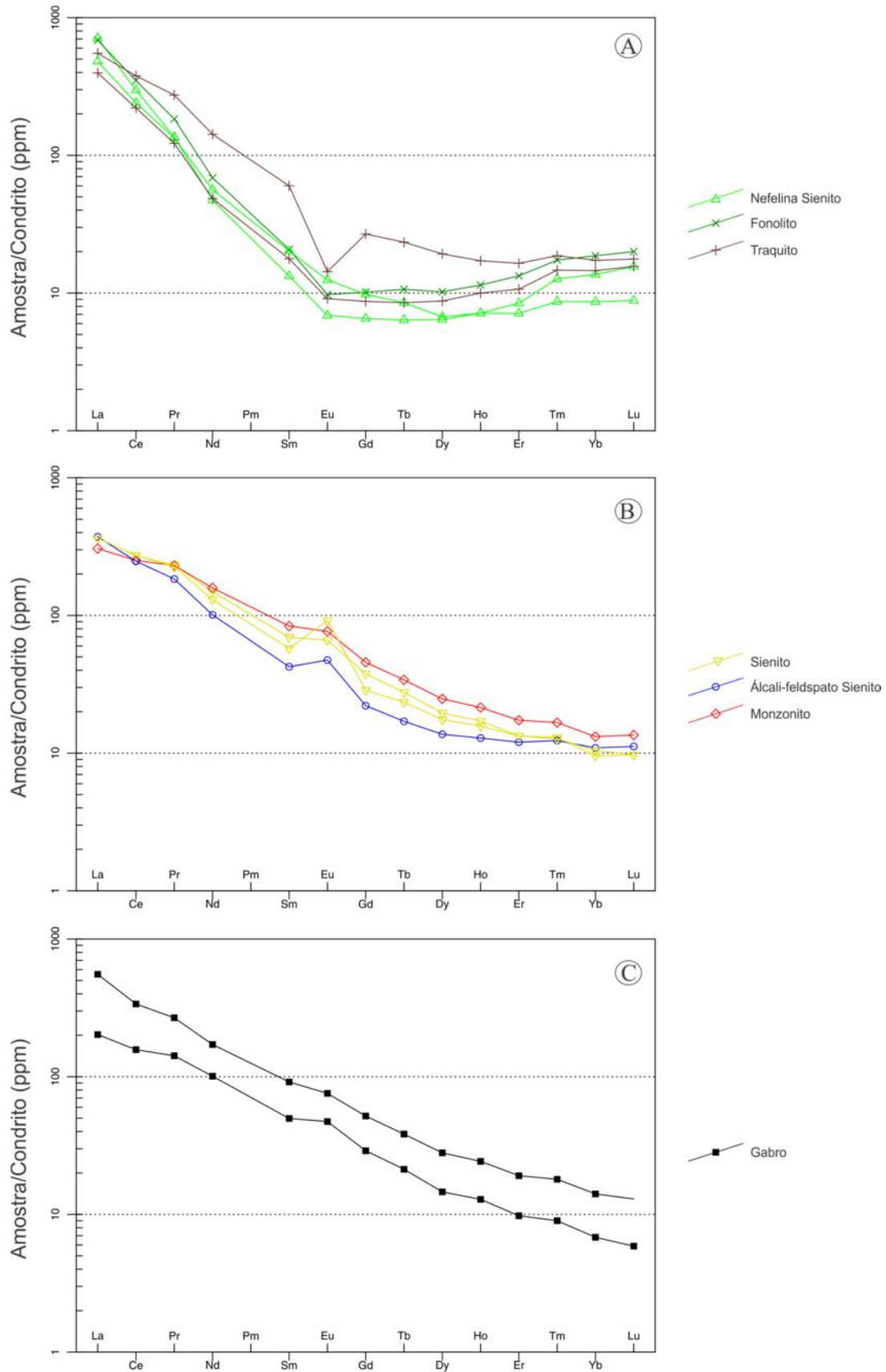


Figura 58 Diagramas multielementares de elementos terras raras normalizados para o condrito (Nakamura, 1974). A) Amostras de nefelina sienito, fonolito e traquito (Grupo A). B) Amostras de sienito, monzonito e álcali-feldspato sienito (Grupo B). C) Amostras dos enclaves (Grupo C).

8.3 Correlação geoquímica com o Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio

Os corpos alcalinos do Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio são interpretados como fruto da atividade magmática de um *hotspot* durante a passagem da Placa Sulamericana entre o final do Cretáceo ao início do Cenozoico (Herz, 1977; Almeida *et al.*, 1986; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999). Desta hipótese, depreende-se que, por terem origem no mesmo plúton, as diversas manifestações alcalinas pertencentes a esta cadeia apresentam assinaturas geoquímicas semelhantes.

Baseando-se neste princípio, foram reunidos dados químicos de rochas félsicas, tais como nefelina sienitos e álcali-sienitos, de diversos maciços do Alinhamento a fim de dar suporte a tal princípio. Para tanto, usou-se a média das análises de Na₂O, K₂O e de elementos traços e terras raras de cada maciço e as análises destes elementos obtidas durante o presente trabalho.

A preferência por estes elementos se deve a sua menor mobilidade geoquímica durante os processos ígneos ocorridos durante a evolução de uma câmara magmática. A média se trata de uma média aritmética simples, usada para uniformizar o dado e não poluir os diagramas com um volume grande de pontos plotados.

Esses resultados foram, então, plotados em diagramas multielementares normalizados para os mesmos padrões utilizados anteriormente durante o tratamento das análises das amostras da Ilha do Cabo Frio. A partir das linhas de tendência obtidas, delimitou-se um campo que abrange o intervalo entre as maiores e menores concentrações medidas.

Apesar de sua alta mobilidade, criou-se um gráfico Na₂O vs K₂O para estes maciços a fim de comparar com o tipo de série na qual as rochas da Ilha do Cabo Frio se inserem, podendo também neste caso correlacioná-los, ou não, geneticamente.

Foram reunidas as análises químicas referentes a nove maciços alcalinos: Poços de Caldas (Schorscher & Shea, 1992; Shea, 1992), Itatiaia e Passa Quatro (Enrich *et al.*, 2005), Nova Iguaçu (Arena *et al.*, 2006), Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007), Rio Bonito (Motoki *et al.*, 2010), Morro Redondo e Mendanha (Mota, 2012) e Tanguá (Sichel *et al.*, 2012). Vale ressaltar que não foram obtidos dados de elementos traços e terras raras dos maciços de Nova Iguaçu e Tanguá.

Comparando os teores de Na₂O e K₂O, constata-se o padrão semelhante entre os dois gráficos elaborados, havendo uma maior proporção de maciços que se enquadram na série potássica, com correlação positiva entre tais óxidos (Figura 59).

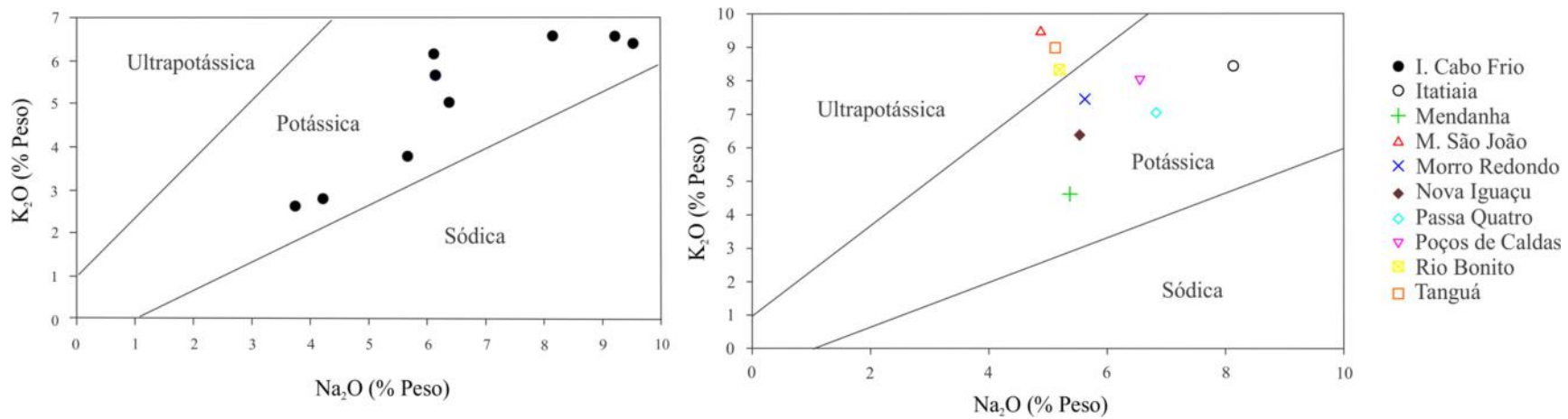


Figura 59 Comparação entre os gráficos Na_2O vs K_2O das rochas da Ilha do Cabo Frio com a média de teores das rochas félsicas de diversos complexos alcalinos do Alinhamento Magmático Cabo Frio. Nota-se que ambos os gráficos apontam que tais complexos apresentam tendência à série potássica. Fonte dos dados: Ilha do Cabo Frio (este trabalho), Poços de Caldas (Schorscher & Shea, 1992), Itatiaia e Passa Quatro (Enrich *et al.*, 2005), Nova Iguaçu (Arena *et al.*, 2006), Morro de São João (Brotzu *et al.*, 2007), Rio Bonito (Motoki *et al.*, 2010), Morro Redondo e Mendanha (Mota, 2012) e Tanguá (Sichel *et al.*, 2012).

Os diagramas multielementares de elementos traços indica uma grande similaridade entre os teores médios do Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio com os dados da Ilha do Cabo Frio (Figura 60). Contudo, nota-se que os grupos A e B apresentam, separadamente, sua própria particularidade que é marcante no campo do Alinhamento.

Na figura 60A, as depressões em Ba e Sr, o pico de Zr e o *trend* negativo entre Th e Pr do Grupo A são evidentes no campo do Alinhamento Magmático. Enquanto isso, os picos em Ba e Sr, a depressão em Pb e o *trend* negativo entre Sm e Lu dizem respeito ao Grupo B (Figura 60B).

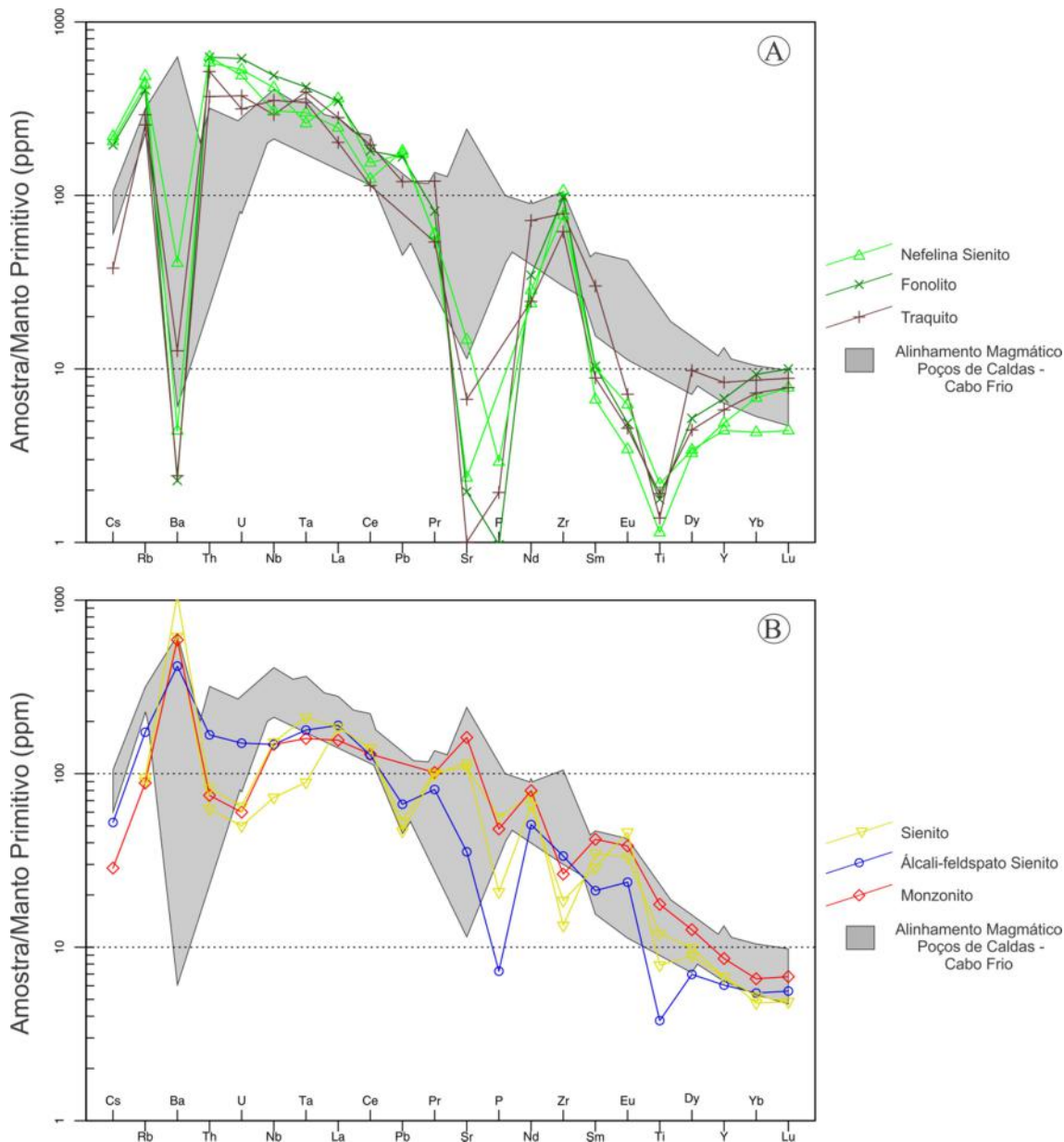


Figura 60 Diagramas multielementares de elementos traços normalizados para o manto primitivo (McDonough e Sun, 1995) comparando os dados da Ilha do Cabo Frio com os teores médios dos complexos de Itatiaia, Mendanha, Morro de São João, Morro Redondo, Passa Quatro, Poços de Caldas e Rio Bonito. A) Comparação com o Grupo A. B) Comparação com o Grupo B.

Os diagramas multielementares para os elementos terras raras corroboram a semelhança dos padrões citados anteriormente (Figura 61). Neste caso, é possível perceber que o Grupo A apresenta as concentrações iniciais e finais das linhas de tendência dentro ou próximo ao campo do Alinhamento (Figura 61A). A diferença reside no empobrecimento dos ETR deste grupo. Enquanto isso, o Grupo B está inserido no campo de teores médios, revelando a quase total equivalência entre as concentrações (Figura 61B).

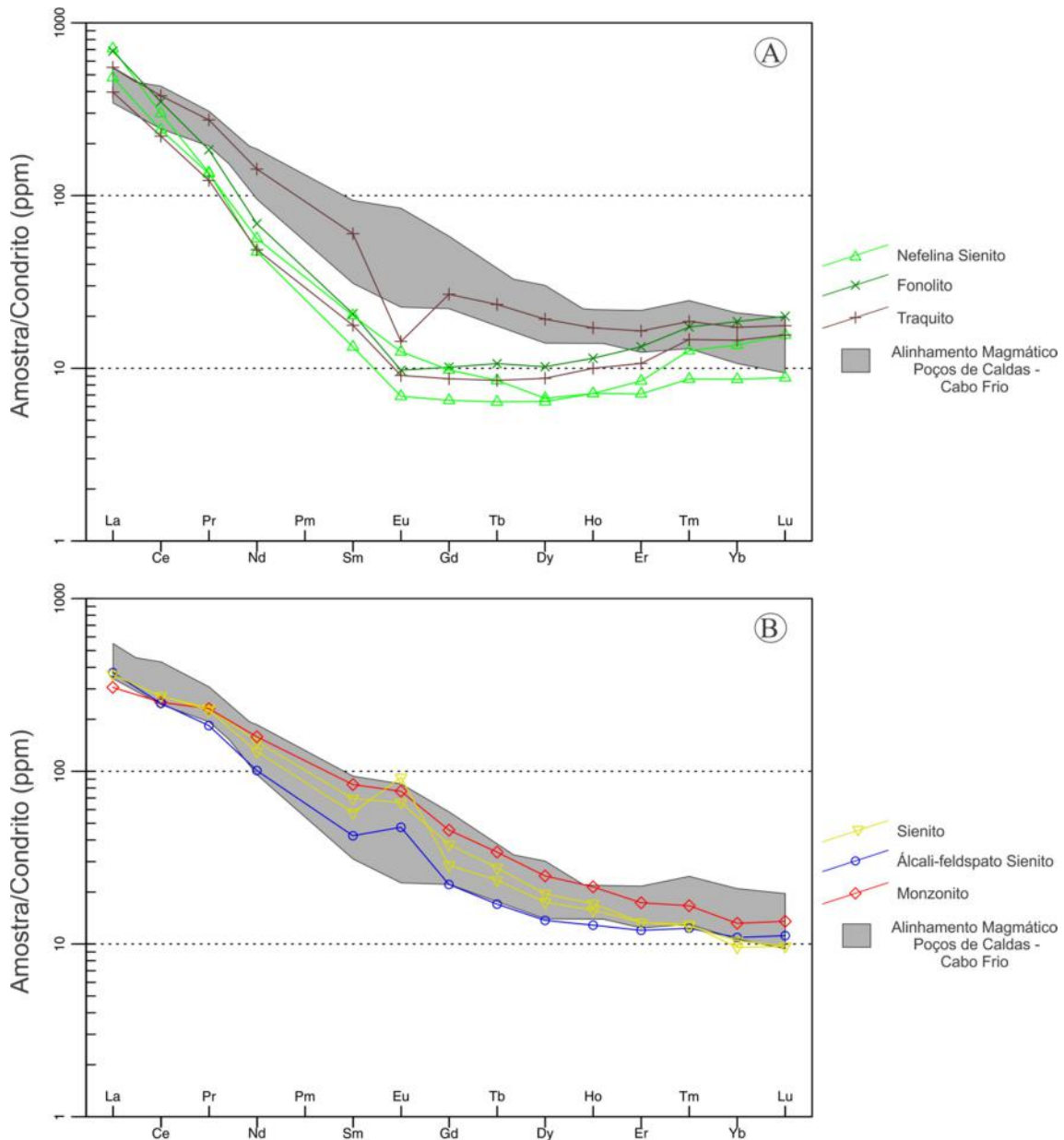


Figura 61 Diagramas multielementares de elementos terras raras normalizados para o condrito (Nakamura, 1974) comparando os dados da Ilha do Cabo Frio com os teores médios dos complexos de Itatiaia, Mendanha, Morro de São João, Morro Redondo, Passa Quatro, Poços de Caldas e Rio Bonito. A) Comparação com o Grupo A. B) Comparação com o Grupo B.

9 DISCUSSÕES

A técnica de mapeamento baseada na integração de dados obtidos em escala de detalhe compilados em um mapa de menor escala resultou em um mapa geológico com maior confiabilidade e com maior detalhamento sobre a geologia da área de estudo.

A Ilha do Cabo Frio é uma estrutura constituída pela associação das rochas alcalinas nefelina sienito, álcali-feldspato sienito, sienito, monzonito, fonolito e traquito, encaixadas em embasamento de ortognaisse e justapostas a um corpo de brecha vulcânica.

A mineralogia dos litotipos alcalinos consiste em nefelina, presente apenas no nefelina sienito e no fonolito; álcali-feldspato (ortoclásio ou albita) e plagioclásio, que ocorre no sienito, monzonito e traquito. Clinopiroxênio, apatita e titanita ocorrem invariavelmente em todas essas unidades. Contudo, as proporções modais variam e o tipo de piroxênio também.

As diferenças texturais observadas no nefelina sienito indicam um processo de cristalização fracionada associada à variação da temperatura da câmara magmática, visto que ele apresenta fácies de granulação média a grossa e outra de granulação fina. Isto poderia estar associado ao processo de super-reaquecimento proposto por Sichel *et al.* (2012), cuja elevação da temperatura interna da câmara magmática freou a sua cristalização possibilitando o crescimento de minerais. Textura de franja de recristalização em bordas de cristais de álcali-feldspato em fonolito também indicaria a instabilidade térmica dessa câmara.

A brecha vulcânica é um corpo piroclástico formado durante uma atividade eruptiva desta câmara magmática. Ela é composta por litoclastos de fonolito, traquito e ortognaisse, estando ausentes demais tipos plutônicos mapeados na área de estudo. Tais características indicam que esta atividade não intruiu estas rochas, podendo-se inferir que o seu conduto vulcânico se encontrava em uma profundidade acima da câmara. Desta forma, para que a brecha esteja justaposta às alcalinas plutônicas, foi necessária uma movimentação tectônica que as soerguesse e abatesse a piroclástica.

Ao tratar de uma atividade vulcânica, é de se esperar que haja a formação de rochas extrusivas associadas. Contudo, não é o que ocorre na Ilha do Cabo Frio. Isto pode ser explicado a partir do trabalho de Hackspacher *et al.* (2004), que afirma, por meio de resultados de traço de fissão de apatita, ter havido uma taxa de denudação na Província da Serra do Mar superior a 2000m nos últimos 60 Ma. Com essa taxa, é plausível supor que quaisquer evidências de tais rochas tenham sido erodidas há muito tempo. Por este mesmo motivo, é compreensível a matriz da brecha vulcânica não apresentar vidro vulcânico, visto

que os remanescentes de tal atividade extrusiva se se encontravam a milhares de quilômetros de profundidade.

Os corpos subvulcânicos correspondem a diques de traquito, fonolito e diabásio. Eles ocorrem em grande densidade no intrudindo o ortognaisse do Pontal do Atalaia e do afloramento do Canal do Boqueirão, na costa da Ilha. O diabásio, entretanto, não intrude as rochas sieníticas e monzoníticas nem os demais diques, sendo então, cronologicamente mais antigo que essas intrusões. O traquito e o fonolito são intrusões contemporâneas, visto que ambas se entrecortam. Constata-se também uma segunda geração de traquito, pois o mesmo intrude outros corpos traquíticos.

Os diques exibem correlação direta com o padrão de fraturamento e com o bandamento gnaissico observado no ortognaisse do Pontal do Atalaia. Estas estruturas induzem a colocação desses corpos em posição vertical ou sub-horizontal, orientados a NE-SW, NW-SE, N-S e E-W.

Almeida (1976) estudando o sistema de riftes interpretou que o magmatismo alcalino na Região Sudeste está associado a dois eventos tectônicos distintos. O primeiro se refere à Reativação Waldeniana (Almeida, 1967), quando houve a reativação da Plataforma Sulamericana durante o Mesozoico a partir de antigos falhamentos e soerguimento de blocos. O segundo evento remete à instalação do Sistema de Riftes do Sudeste em locais de intenso falhamento ocorridos durante o Cambro-Ordoviciano. Na mesma linha, Almeida (1983) observou a relação entre estruturas rúpteis com orientadas a NE-ENE e a ocorrência de magmatismo alcalino condicionados por tais estruturas, oriundas da fragmentação continental de abertura do Gondwana.

Dessa forma, o magmatismo alcalino da Ilha do Cabo Frio estaria associado ao primeiro evento, que proporcionou a reativação das estruturas NE-SW dos terrenos Oriental, Ocidental e Paraíba do Sul (Heilbron *et al.*, 2004) e NW-SE do Domínio Tectônico Cabo Frio (Schmitt *et al.*, 2008b), orientações de diques, falhas e fraturas frequentemente encontradas Ilha do Cabo Frio e no Pontal do Atalaia.

Levando em consideração este modelo, a referida segunda geração de traquito representaria um evento magmático pós-soerguimento da câmara magmática, cuja evidência de campo é dada pelo afloramento de traquito penetrando a falha do contato entre o álcali-feldspato sienito e a brecha vulcânica no ponto 14.

O tratamento das análises litogeoquímicas indica que as rochas alcalinas félsicas mapeadas podem ser agrupadas em dois grupos, cada qual com seu *trend* evolutivo. No Grupo

A, composto por nefelina sienito, fonolito e traquito, os diagramas bivariantes apontam para o fracionamento de nefelina e álcali-feldspato, apresentando baixos teores de Ca, Ti, Fe e Mg, correlacionáveis com a pequena proporção modal de titanita e minerais máficos nesses litotipos.

O Grupo B, representado por sienito, monzonito e álcali-feldspato sienito, apresenta comportamento oposto ao Grupo A. Os altos teores de Ca, Ti, Fe e Mg correspondem ao fracionamento de plagioclásio, titanita e minerais máficos, como clinopiroxênio e biotita titanífera. Seu baixo teor de álcalis e de alumina reflete a ausência de nefelina.

Esses gráficos combinados com os diagramas multielementares revelam que esses dois grupos possuem evolução geoquímica distinta, pertencendo a séries evolutivas diferentes, não sendo possível traçar uma tendência entre ambos. Tal característica é plausível com o padrão evolutivo de rochas alcalinas. A transição de litotipos com nefelina para aqueles sem nefelina ocorreria apenas a partir de uma grande assimilação de rocha crustal, o que quebraria a barreira termal que separa esses domínios. Em campo, estruturas de *magma mingling* seriam indicativas dessa mistura.

Um terceiro grupo geoquímico seria representado pelos xenólitos de gabro, cuja química aparentemente pode estar influenciada pela rocha encaixante. Textura de reação magmática ocasionada por fluido hidrotermal visualizada em lâmina petrográfica poderia ter sido formada pela interação do magma nefelina sienítico, visto que, além de ter havido a captura desses clastos pela intrusão, é possível reconhecer veios deste magma intrudidos no xenólito por meio de faturamento hidráulico. Esta interação pode ter fornecido parte da química analisada, gerando uma interpretação alcalina para estas rochas.

A correlação entre os dados litogeoquímicos das rochas félsicas da Ilha do Cabo Frio com os teores médios de parte dos demais maciços alcalinos do Alinhamento Magmático aponta para uma estreita relação genética entre os corpos, dando suporte à hipótese de serem originadas de uma mesma fonte mantélica.

Supõe-se a partir dos diagramas multielementares que cada grupo félsico apresenta características geoquímicas próprias e marcantes de sua série magmática, por exemplo, o empobrecimento em Ba para as rochas insaturadas e o seu enriquecimento nas saturadas.

Apesar de possuírem histórias evolutivas distintas, é possível traçar uma linha de transição entre elas pela análise dos diagramas multielementares de ETR. Entende-se que, para haver tal transição, seria necessária a contaminação do magma fonte por um contaminante rico nos ETRs intermediários. Tal contaminação enriqueceria a fonte em tais

elementos causando um empobrecimento aparente daqueles presentes nas extremidades da sequência, o que pode ser observado na química das rochas félsicas da Ilha.

Associando tais observações ao modelo de super-reaquecimento de Sichel *et al.* (2012), pode-se supor que a elevação da temperatura da câmara magmática propiciou a cristalização de plagioclásio e a diminuição da fO_2 com conseqüente enriquecimento de Eu, registrado pelos picos na figura 51B, neste novo magma.

10 CONCLUSÕES

A partir dos dados levantados pelo presente trabalho, as seguintes conclusões puderam ser tomadas:

- A) A Ilha do Cabo Frio é formada por nefelina sienito, álcali-feldspato sienito, sienito, monzonito e diques de fonolito e traquito encaixados em ortognaisse e justapostos a brecha vulcânica;
- B) Os corpos de hornblenda-gabro encontrados em nefelina sienito e sienito são xenólitos e não apresentam relação genética com os corpos alcalinos félsicos. Também não foi possível determinar a proveniência desse enclaves;
- C) O contato entre o ortognaisse e o monzonito e entre o álcali-feldspato sienito e a brecha vulcânica são delineados por falhas normais, cuja orientação foi condicionada pela reativação de estruturas proterozoicas NE-SW;
- D) Esta reativação também condicionou a intrusão dos corpos alcalinos, tanto plutônicos quanto subvulcânicos, podendo-se observar a predominância de diques mapeadas na Ilha que apresentam a direção NE-SW. Estruturas NW-SE, N-S e E-W também foram reativadas e proporcionaram a colocação de diques nestas direções
- E) A litogeoquímica revelou que estas rochas pertencem à série alcalina potássica miaskítica, havendo três grupos geoquímicos distintos: um caracterizado pelo fracionamento de nefelina e álcali-feldspato, com padrão ETR côncavo, indicando o fracionamento de fases enriquecidas em ETRP, como apatita, zircão e titanita; o segundo grupo é caracterizado pela cristalização de plagioclásio e minerais máficos mais enriquecidos em Fe e Mg do que em álcalis, com padrão ETR linear; o terceiro grupo apresenta os maiores teores de Ca, Fe e Mg, configurando a cristalização de minerais essencialmente máficos.
- F) A comparação entre os diagramas multielementares para elementos traços e ETRs das rochas da Ilha do Cabo Frio com o teor médio de 9 complexos alcalinos pertencentes ao Alinhamento Magmático Poços de Caldas – Cabo Frio permitiu averiguar a cogeneticidade dessas rochas, atribuindo a elas uma mesma fonte mantélica. Além disso, pode-se inferir a evolução do magma nefelina sienítico para sienítico a partir da mistura de magmas ou da assimilação de corpos com química rica em ETRs intermediárias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. The system of continental rifts bordering the Santos Basin, Brazil. Academia Brasileira de Ciências, São Paulo, n.48, suplemento, p 15-26, 1976.

ALMEIDA, F.F.M. Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozoicas da região meridional da Plataforma Sulamericana. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.13, n.3, p.139-158, 1983.

ALMEIDA, F.F.M. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozoico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 16, n.4, p. 325-349, 1986.

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J. H. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.31, p 117-142, 1967.

ARAÚJO, A.L. *Geologia, geoquímica e petrologia das rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio e das áreas continentais adjacentes, Arraial do Cabo - RJ*. 1995. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal Fluminense. Niterói.

ARENA, M.C.; VALENTE, S.C.; SILVEIRA, L.S.; DUTRA, T.; CORVAL, A.; RAGATKY, C.D. Aspectos petrográficos e geoquímicos preliminares das suítes alcalinas sieníticas e traquíticas da porção setentrional do complexo vulcânico de Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. *Arquivos do Museu Nacional*, v.64, n.4, p.333-359, 2006

BARBIERE, E.B. Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: LACERDA, L.D., ARAÚJO, D.S.D., CERQUEIRA, R.S., TURCQ, B.C. Restingas: Origem, estrutura, processos. Niterói, UFF, p. 3-12, 1984.

BASTOS, H.G. *Geologia estrutural rúptil e tectônica de alojamentos de diques do Pontal do Atalaia, Arraial do Cabo, RJ*. 2010. 76f. Monografia de Graduação – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2001.

BENNIO, L.; BROTZU, P.; D'ANTONIO, M.; FERAUD, G.; GOMES, C.B.; MARZOLI, A.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; RAPAILLE, C.; RUBERTI, E. The tholeiitic dyke swarm of the Arraial do Cabo peninsula (SE Brazil): $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ ages, petrogenesis, and regional significance. *Journal of South American Earth Sciences*, v.16, n.2, p. 163-176, 2003.

BRITO-NEVES, B.B.; CAMPOS-NETO, M.D.; FUCK, R.A. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan-African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, v.22, n.3, p.155–166, 1999.

BROTZU, P.; BECCALUVA, L.; CONTE, A.; FONSECA, M.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; LEONG, R.; MACCIOTTA, G.; MANSUR, R.L.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G.; VALENÇA, J.G.. Petrological and geochemical studies of alkaline rocks from continental Brazil. The syenitic intrusion of Morro Redondo, RJ. *Geochimica Brasiliensis*, São Paulo, v.3, p.63-80, 1989.

BROTZU, P.; BARBIERI, M., BECCALUVA, L.; GARBARINO, C.; GOMES, C.B.; MACCIOTTA, G.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; RUBERTI, E.; SIGOLO, J.B.; TRAVERSA, G. Petrology and geochemistry of the Passa Quatro alkaline complex, southeastern Brazil. *J. S. Am. Earth Sci*, v.6, p.237-252, 1992.

BROTZU, P.; GOMES, C.B.; MELLUSO, L.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; RUBERTI, E. Petrogenesis of coexisting SiO₂-undersaturated to SiO₂-oversaturated felsic igneous rocks: the alkaline complex of Itatiaia, southern eastern Brazil. *Lithos*, v.40, p.133-156, 1997.

BROTZU, P.; MELLUSO, L.; BENNIO, L.; GOMES, C.B.; LUSTRINO, M.; MORBIDELLI, L.; MORRA, V.; RUBERTI, E.; TASSINARI, C.; D'ANTONIO, M. Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.24, p.93-115, 2007.

CASTRO, J.W.A; SUGUIO, K.; CUNHA, A.M.; GUEDES, E.; TÂMEGA, F.T.S.; RODRIGUEZ, R.R. Rochas de praia "beachrocks" da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, registro geológico ímpar da transição Pleistoceno – Holoceno no Estado do Rio de Janeiro. *Anuário IGEO. UFRJ*, v.35, n.1, p.236-241, 2012.

CORDANI, U.G. 1970. Idade do vulcanismo no Oceano Atlântico Sul. *Boi. IGA*, v., p.9-75.

COX, K.G., BELL, J.D., PANKHURST, R.J. The interpretation of igneous rocks. London. 1979. 450p.

DERBY, O.A. On nepheline rocks in Brazil, with special reference to the association of phonolite and foyaite. *Quarterly journal of the Geological Society*. Londres, v.43, p. 457-473, 1887.

DIAS, L.F.L, CASTRO, J.W.A., SEOANE, J.C.S. Transição Pleistoceno – Holoceno na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo / Rio de Janeiro: Reconstituição paleoambiental 3D. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.66/5, p. 931-951, 2014.

ENRICH, G.E.R.; AZZONE, R.G.; RUBERTI, E.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. Itatiaia, Passa Quatro and São Sebastião Island, the major alkaline syenitic complexes from the Serra do Mar region. In: COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (Eds). *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.419-442.

ERNESTO, M. 1996. *Determinação da curva de deriva polar aparente para o Mesozoico da América do Sul*. 1996. 56 p. Tese de Livre Docência. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERRARI, A.L. *Evolução Tectônica do Gráben da Guanabara*. 2001. 412 p. Tese de Doutorado. IGc-USP, São Paulo.

GERALDES, M.C.; MOTOKI, A.; VARGAS, T.; IWANUCH, W.; BALMANT, A.; MOTOKI, K.F. Geology, petrography, and emplacement mode of the Morro dos Gatos alkaline intrusive rock body, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Geociências*, Rio Claro, v. 32, n.4, p.625-639, 2013.

HACKSPACHER, P.C., RIBEIRO, L.F.B., RIBEIRO, M.C.S, FETTER, A.H., HADLER NETO, J.C., TELLO, C.E.S., DANTAS, E.L. Consolidation and break-up of the South American Platform in Southeastern Brazil: Tectonothermal and denudation histories. *Gondwana Research*, v. 7, n. 1, p. 91-101, 2004.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, v.125, p.87-112. 2003.

HEILBRON, M., MOHRIAK, W.U., VALERIANO, C.M., MILANI, E.J., ALMEIDA, J., TUPINAMBÁ, M. From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil. In: W.U. MOHRIAK, M. TALWANI. Eds. *Atlantic rifts and continental margins*. Washington, D.C., AGU, Geophysical Monograph, 2000. 115, p.1-32.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; SILVA, L.C.; CAMPOS NETO, M.C.; TROUW, R.A.J. Província Mantiqueira. In: In MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B. Eds. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, 2004, p.203-235.

HERZ, N. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkalic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, v.88, p.101-112, 1977

LE BAS, M.J.; LEMAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali sílica diagram. *Journal of Petrology*, v.27, n.3, p.745-750, 1986.

LIMA, P.R.A.S., 1976. Geologia dos maciços alcalinos do Estado do Rio de Janeiro. Parte I. Localização e geologia dos maciços. Semana de Estudos Geológicos. Univ. Fed. Rural Rio de Janeiro. Dep. Geociênc., p.205-245.

LIMA, P.R.A.S.; CHIVEGATTO, J.R.S. Relatório parcial das folhas Cabo Frio e Farol do Cabo. DRM, Niterói, 1974.

MOTA, C.E.M.; GERALDES, M.C.; ALMEIDA, J.C.H.; VARGAS, T.; SOUZA, D.M.S.; LOUREIRO, R.O.; SILVA, A.P. Características isotópicas (Nd e Sr), geoquímicas e petrográficas da intrusão alcalina do Morro de São João: Implicações geodinâmicas sobre a composição do manto litosférico. *Geociências*, v.9, n.1, p.85-100, 2009.

MOTA, C.E.M. *Petrogênese e geocronologia das intrusões alcalinas de Morro Redondo, Mandanha e Morro de São João: Caracterização do magmatismo alcalino no Estado do Rio de Janeiro e implicações geodinâmicas*. 2012. 204p. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

MOTOKI, A.; ÁVILA, C. A.; ROIG, H. L. Estudos litológicos e geológicos dos corpos tabulares no município de Arraial do Cabo, RJ. *Anais do 35º Congresso Brasileiro de Geologia*, v.6, p.2727-2739, 1988.

MOTOKI, A.; SICHEL, S.E. Hydraulic fracturing as possible mechanism of dyke-sill transition and horizontal discordant intrusion: an example of Arraial do Cabo area, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Geofísica Internacional*, Ciudad del México, v.47, n.1, p.13-25. 2008.

MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; SOARES, R.S.; NEVES, J.L.P.; AIRES, J.R. Geological, lithological, and petrographical characteristics of the Itaúna Alkaline Intrusive Complex, São Gonçalo, State of Rio de Janeiro, Brazil, with special attention of its emplacement mode. *Geociências*, v.27, n.1, p.33-44, 2008 (a).

MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; SAVI, D.C.; AIRES, J.R. Mecanismo de intrusão dos corpos tabulares de colocação sub-horizontal discordante da Ilha do Cabo Frio e das áreas adjacentes, município de Arraial do Cabo, RJ. *Geociências*, v.27, n.2, p. 207-218, 2008 (b).

MOTOKI, A.; SICHEL, S.E.; VARGAS, T.; AIRES, J.R.; IWANUCH, W.; MELLO, S.L.M.; MOTOKI, K.F.; SILVA, S.; BALMANT, A.; GONÇALVES, J. Geochemical evolution of the felsic alkaline rocks of Tanguá, Rio Bonito, and Itaúna intrusive bodies, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Geociências*, v.29, n.3, p.291-310, 2010.

MOTOKI, A.; GERALDES, M.C.; IWANUCH, W.; VARGAS, T.; MOTOKI, K.F.; BALMANT, A.; RAMOS, M.N. Pyroclastic dyke and welded crystal tuff of the Morro dos Gatos alkaline intrusive complex, State of Rio de Janeiro, Brazil. *REM-Revista Escola de Minas*, v.65, n.1, p.35-45, 2012.

QUADROS, P. *Caracterização dos sedimentos de praia da Ilha do Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ*. 2013. 56f. Monografia de Pós-graduação - Museu Nacional. Rio de Janeiro. 2013.

RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; PACIULLO, F.V.P.; ANDREIS, R.R.; VALENÇA, J.G. Evolução das bacias proterozóicas e termo-tectonismo Brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v.25, n. 4, p.235-248, 1995.

RIBEIRO-FILHO, E.; CORDANI, U.G. Contemporaneidade das intrusões de rochas alcalinas do Itatiaia, Passa Quatro e Morro Redondo. *Publ. n.º 1* do Núcleo do Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, p.62-63, 1966.

ROLLISON, H.R. *Using geochemical data*. Longman Scientific & Technical, Essex, 376p., 1993.

SAVI, D.C.; TENÓRIO, M.C.; CALIPPO, F.R.; TOLEDO, F.A.L.; GONZALEZ, M.M.B.; AFONSO, M.C. *Beachrock* e o sambaqui da Ilha do Cabo Frio. In: ABEQUA, Cong. da ABEQUA, 10, *resumos*, 4p, 2005.

SCHORSCHER, H.D.; SHEA, M.E. The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites. In: N.A. CHAPMAN; I.G. MCKINLEY; M.E. SHEA; J.A.T. SMELLIE. Eds. *The Poços de Caldas Project: Natural Analogues of Processes in a Radioactive Waste Repository*. J. Geochem. Explor., 1992, v.45, p.25-51.

SCHMITT, R.S. *A orogenia Búzios, um evento tectono-metamórfico Cambro-ordoviciano caracterizado no Domínio tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira - sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R.; PASSCHIER, C.W. Cambrian orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil) and correlations within West Gondwana: ties that bind underwater. *Special Publications*, Geological Society, London, v.294. p.278-296, 2008 (a).

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; MEDEIROS, S.R.; DANTAS, E.L. Age and geotectonic setting of Late Neoproterozoic juvenile mafic gneisses and associated paragneisses from the Ribeira belt (SE Brazil) based on geochemistry and Sm–Nd data — Implications on Gondwana assembly. *Precambrian Research*, v.13, p.502-515, 2008 (b).

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R.; PIMENTEL, M.M. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian orogeny in the Ribeira Belt — SE Brazil. *Precambrian Research*, v.133, p.29–61, 2004.

SHEA, M.E. Isotopic geochemical characterization of selected nepheline syenites and phonolites from the Poços de Caldas alkaline complex, Minas Gerais, Brazil. In: N.A. CHAPMAN; I.G. MCKINLEY; M.E. SHEA; J.A.T. SMELLIE. Eds. *The Poços de Caldas Project: Natural Analogues of Processes in a Radioactive Waste Repository*. J. Geochem. Explor., 1992, v.45, p.173-214.

SICHEL, S.E.; MOTOKI, A.; SAVI, D.C.; SOARES, R.S. Subvolcanic vent-filling welded tuff breccia of the Cabo Frio Island, State of Rio de Janeiro, Brazil. *REM-Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v.61, n.4, p.423-432, 2008.

SICHEL, S.E.; MOTOKI, A.; IWANUCH, W.; VARGAS, T.; AIRES, J.R.; MELO, D.P.; MOTOKI, K.F.; BALMANT, A.; RODRIGUES, J.G. Cristalização fracionada e assimilação da crosta continental pelos magmas de rochas alcalinas félsicas do estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro*, v.35, n.2, p.84-104, 2012.

SILVA *et al.* (org.). Geologia e recursos minerais da folha Rio das Ostras SF.24-Y-A-IV e Cabo Frio SF.23-Z-B-VI, estado do Rio de Janeiro escala 1:100.000. CPRM, Belo Horizonte, 202p., 2012.

SØRENSEN, H. Alkaline Rocks. John. Wiley & Sons, London, 622p., 1974.

SONOKI, I.K.; GARDA, G.M. Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação as novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP, Série Científica*, São Paulo, v.19, p.63-85, 1988.

STRECKEISEN, A. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. *Geol. Rundschau*, v.63, p.773-786.

THOMAZ FILHO, A.; RODRIGUES, A.L. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na Cadeia Vitória- Trindade. *Rev. Bras. Geoc.*, v.29, n.2, p.189-194, 1999.

THOMAZ FILHO, A.; CESERO, P.; MIZUSAKI, A.M.; LEÃO, J.G. Hot spot volcanic tracks and their implications for south American plate motion, Campos basin (Rio de Janeiro state), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v.18, p.383-389, 2005.

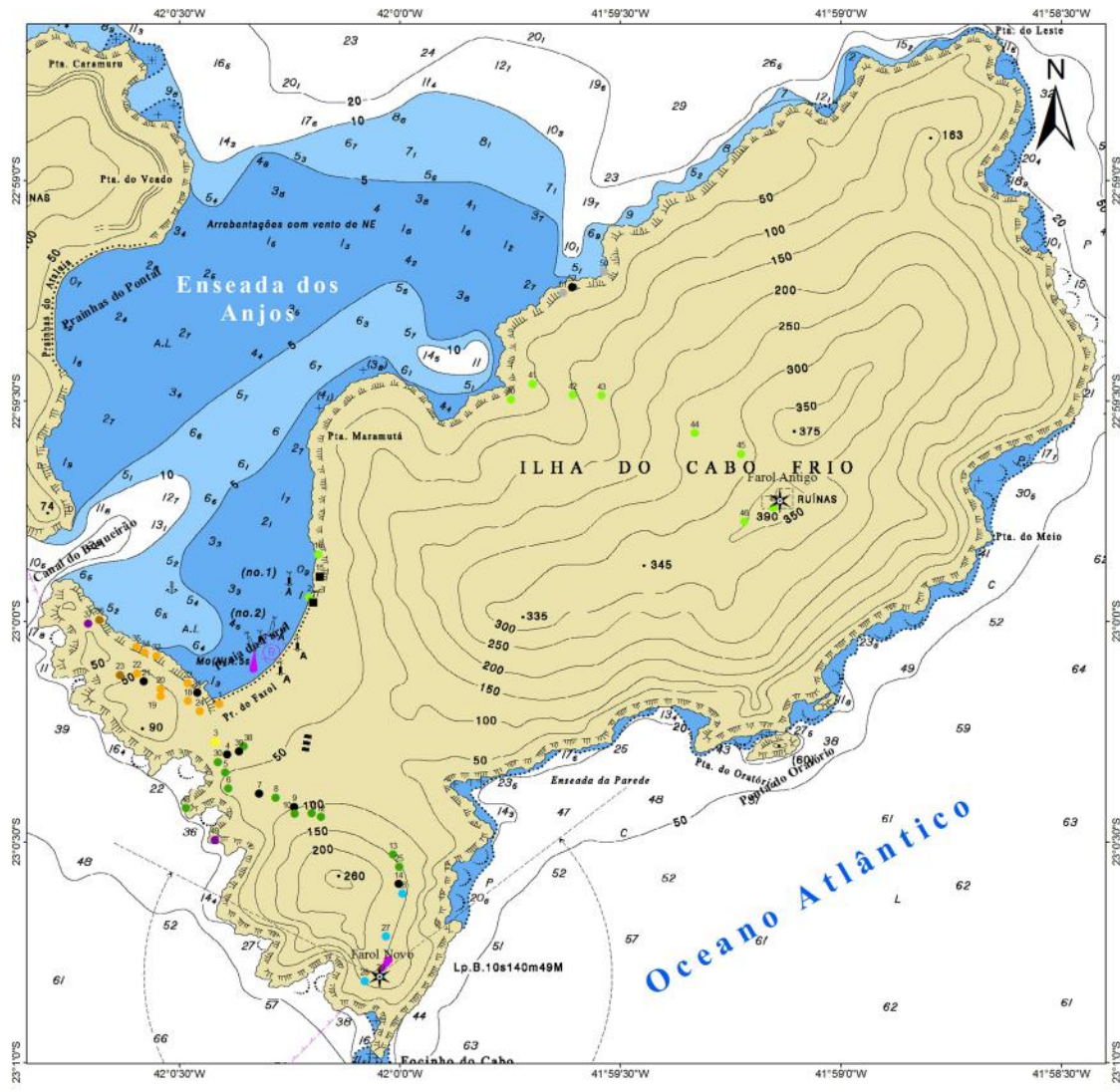
TROUW, R.A.J.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P.; VALERIANO, C.M.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; ANDREIS, R.R. The Central Segment of the Ribeira Belt. In: U.G. CORDANI; E.J. MILANI; A. THOMAZ FILHO; D.A. CAMPOS. Eds. *Tectonic Evolution of South America*. International Geological Congress, 2000, v.31. MCT (Ministry of Science and Technology), Rio de Janeiro, p.287–310.

ULBRICH, H.H.G.J; GOMES, C.B. Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth-Sci. Rev.*, v.17, p.135-154, 1981.

VALENTIN, J.L. Analyses des paramètres hydrologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). *Mar. Bio*, v. 82, p. 259-276, 1984.

ANEXOS

Anexo 1 – Mapa de Pontos



Mapa de Pontos da Ilha do Cabo Frio

Autor: Felipe Martins de Oliveira

Legenda

- Duna Vegetada
- Álcali-feldspato Sienito
- Dique
- Traquito
- Brecha Vulcânica
- Xenólito
- Monzonito
- Nefelina Sienito
- Sienito
- Ortognaisse

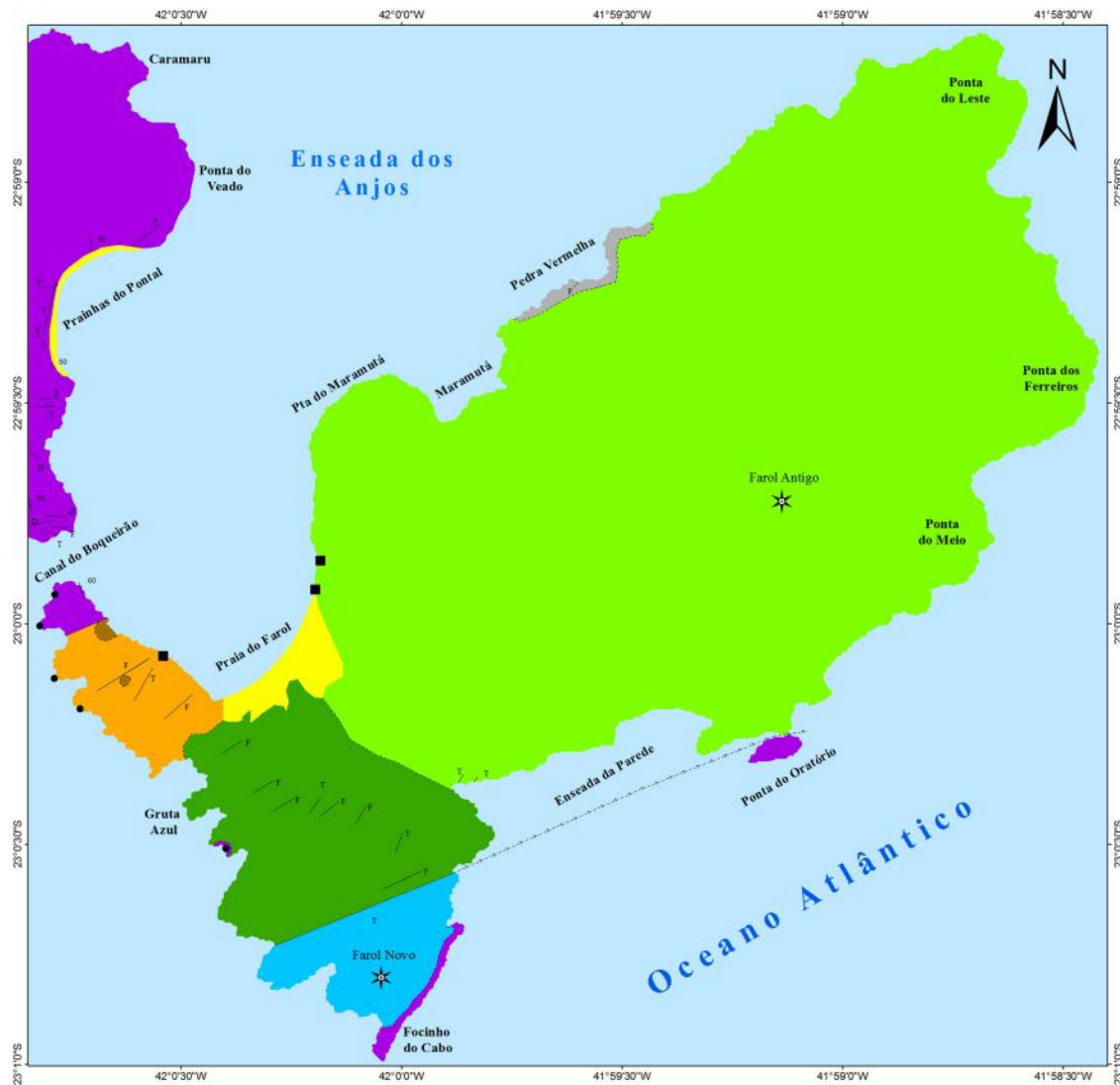
Convenções

- Farol
- Boia Fixa
- Curva de Nível
- Baliza Fixa
- Encosta escarpada
- Costa Arenosa/Praia
- Sinal Luminoso
- Área de Maricultura, interdita à navegação. Área de testes do IEAPM.
- 21 Profundidade em metros reduzida da baixa-mar média de sizígia



Escala 1:20.000
 Datum: WGS84
 Declinação Magnética: 22°59' W
 Variação Anual: 0°5' W

Anexo 2 – Mapa Geológico



Mapa Geológico da Ilha do Cabo Frio

Autor: Felipe Martins de Oliveira

Legenda

- Sedimento de Praia
- Brecha Vulcânica
- Diques (F - Fonolito/ T - Traquito
D - Diabásio)
- Monzonito
- Sienito
- Álcali-feldspato Sienito
- Traquito
- Nefelina Sienito
- Ortognaisse

Convenções

- Atitude do Bandamento Gnaissico
- Contato
- Contato Inferido
- Falha
- Falha Inferida
- Diques Subhorizontais Indiferenciados
- Farol
- Xenólito Máfico



Escala 1:20.000
 Datum: WGS84
 Declinação Magnética: 22°59' W
 Variação Anual: 0°5' W

Anexo 3 – Tabelas de Medidas Estruturais

Tabela 4 – Tabela das medidas levantadas do bandamento gnaissico.

<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	Latitude	Longitude
33	50	-22,995556	-42,013694
35	45	-22,987128	-42,012758
47	55	-22,982290	42,024250
77	70	-22,996583	-42,013278
78	55	-22,996167	-42,013444
78	80	-22,979520	-42,016810
84	90	-22,976000	-42,032250
90	50	-22,989501	-42,013222
96	25	-22,973333	-42,031667
99	30	-22,986306	-42,011772
107	25	-22,973333	-42,031667
110	35	-22,876110	-42,031990
126	20	-22,979390	-42,015230

Tabela 5 – Tabela das medidas levantadas de fraturas.

<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	Latitude	Longitude	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	Latitude	Longitude
11	80	-22,995722	-42,013417	144	85	-22,982910	-42,020630
15	84	-22,973333	-42,031667	156	85	-22,982910	-42,020630
23	40	-22,996361	-42,014139	158	65	-22,982910	-42,020630
72	80	-22,989501	-42,013222	158	80	-22,982910	-42,020630
75	85	-22,995722	-42,013417	159	65	-22,982910	-42,020630
82	70	-22,996333	-42,013361	159	60	-22,982910	-42,020630
83	82	-22,986339	-42,01092	159	85	-22,982910	-42,020630
84	85	-22,982910	-42,020630	159	82	-22,996583	-42,013278
84	80	-22,986339	-42,01092	164	85	-22,973333	-42,031667
87	55	-22,973333	-42,031667	165	75	-22,973333	-42,031667
90	84	-22,989501	-42,013222	177	80	-22,973333	-42,031667
92	80	-22,989501	-42,013222	180	75	-22,981694	-42,023250
112	82	-22,995556	-42,013694	181	85	-22,982910	-42,020630
113	85	-22,982910	-42,020630	183	80	-22,982910	-42,020630
115	60	-22,995556	-42,013694	190	80	-22,973333	-42,031667
116	80	-22,996361	-42,014139	214	80	-22,98291	-42,02063
132	85	-22,987689	-42,012852	223	70	-22,982910	-42,020630
132	80	-22,973333	-42,031667	224	70	-22,982910	-42,020630
133	75	-22,996583	-42,013278	230	70	-22,982910	-42,020630
137	70	-22,996583	-42,013278	269	45	-22,980639	-42,023083
138	60	-22,996583	-42,013278	279	45	-22,980639	-42,023083
140	78	-22,995556	-42,013694	281	35	-22,980639	-42,023083

Tabela 5 – Tabela das medidas levantadas de fraturas (continuação)

<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	Latitude	Longitude	<i>Strike</i>	<i>Dip</i>	Latitude	Longitude
285	45	-22,980639	-42,023083	320	80	-22,973333	-42,031667
286	35	-22,980639	-42,023083	321	45	-22,98291	-42,02063
288	35	-22,981694	-42,02325	322	55	-22,982290	-42,024250
290	82	-22,989501	-42,013222	324	70	-22,973333	-42,031667
295	90	-22,98184	-42,02288	325	85	-22,98291	-42,02063
295	60	-22,989501	-42,013222	325	50	-22,996583	-42,013278
295	60	-22,995722	-42,013417	327	75	-22,98291	-42,02063
297	75	-22,98291	-42,02063	328	75	-22,996167	-42,013444
299	75	-22,982910	-42,020630	332	86	-22,989501	-42,013222
300	80	-22,973333	-42,031667	337	85	-22,973333	-42,031667
301	65	-22,98291	-42,02063	341	80	-22,996167	-42,013444
303	65	-22,995722	-42,013417	342	83	-22,982910	-42,020630
305	88	-22,973333	-42,031667	344	75	-22,973333	-42,031667
307	65	-22,982910	-42,020630	346	78	-22,973333	-42,031667
307	60	-22,982910	-42,020630	346	90	-22,986339	-42,01092
308	40	-22,982910	-42,020630	350	65	-22,973333	-42,031667
309	55	-22,982910	-42,020630	350	80	-22,989501	-42,013222
310	82	-22,973333	-42,031667	352	88	-22,986339	-42,01092
312	50	-22,982290	-42,024250	352	90	-22,986339	-42,01092
312	85	-22,973333	-42,031667	352	88	-22,989501	-42,013222
312	70	-22,996333	-42,013361	359	70	-22,973333	-42,031667
318	84	-22,973333	-42,031667				

Tabela 6 – Tabela das medidas levantadas da atitude dos diques

Strike	Dip	Litologia	Latitude	Longitude	Strike	Dip	Litologia	Latitude	Longitude
70	90	Traquito	-22,990000	-42,014167	161	85	Diabásio	-22,98229	-42,02425
70	50	Traquito	-22,976210	-42,034980	196	80	Diabásio	-22,974194	-42,031750
80	70	Traquito	-22,991472	-42,013472	246	80	Traquito	-22,976210	-42,034980
85	45	Traquito	-22,976210	-42,034980	248	80	Traquito	-22,996361	-42,014139
100	35	Traquito	-22,981840	-42,022880	285	65	Diabásio	-22,98184	-42,02288
107	55	Diabásio	-22,989472	-42,014806	290	60	Traquito	-22,982130	-42,021960
107	50	Traquito	-22,976210	-42,034980	299	55	Fonolito	-22,974778	-42,031667
108	80	Diabásio	-22,996167	-42,013444	311	62	Diabásio	-22,976210	-42,034980
110	55	Diabásio	-22,985889	-42,010231	326	70	Diabásio	-22,974417	-42,031611
132	90	Fonolito	-23,002299	-42,007520	327	80	Diabásio	-22,976210	-42,034980
145	70	Fonolito	-23,002299	-42,007520	348	65	Diabásio	-22,996361	-42,014139
151	55	Traquito	-22,978130	-42,010460					

Anexo 4 – Dados Litogequímicos e norma CIPW

Tabela 7 – Dados litogequímicos das amostras da Ilha do Cabo Frio.

Código	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOt	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.	Total
AC-01	48,61	17,82	9,93	0,237	3,74	7,8	4,22	2,78	2,406	1,16	0,73	99,45
AC-EN-07	39,72	16,49	11,86	0,225	5,76	11,22	5,03	1,74	4,133	1,32	1,16	98,65
AC-SFG-07	56,08	20,76	2,88	0,235	0,28	0,9	9,2	6,47	0,229	< 0.01	2,28	99,32
AC-TP-11	54,31	20,8	2,72	0,232	0,18	1,05	9,51	6,4	0,356	0,02	3,04	98,62
AC-DQ-23	61,99	18,75	3,17	0,05	0,05	0,73	6,1	6,13	0,278	0,04	1,26	98,54
AC-MAF-39	43,46	20,25	9,64	0,141	3,69	12,21	3,26	1,19	1,992	1,35	0,8	97,97
AC-SMG-47	44,22	16,16	11,39	0,249	5,68	8,52	3,74	2,61	3,55	0,99	0,99	98,08
AC-SN-60	59,66	17,59	4,25	0,174	0,75	2,14	6,12	5,63	0,759	0,15	1,14	98,35
AC-SN-68	56,33	17,56	5,55	0,189	1,66	4,19	5,66	3,82	1,585	0,43	0,92	97,9
AC-95	54,25	19,97	2,93	0,17	0,38	1,47	8,13	6,52	0,437	0,06	4,37	98,68
AC-106	59,37	22,85	1,11	0,016	0,32	0,09	6,37	5,02	0,384	< 0.01	3,14	98,69

Código	Sc	Be	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga
AC-01	6	1	110	4080	2169	29	140	< 20	161	< 20	< 10	100	20
AC-EN-07	20	4	249	1421	2646	41	133	< 20	56	< 20	< 10	80	20
AC-SFG-07	< 1	10	14	29	47	21	1116	< 20	36	< 20	< 10	110	39
AC-TP-11	< 1	8	18	15	39	29	1022	< 20	35	< 20	< 10	100	30
AC-DQ-23	< 1	4	< 5	16	20	36	824	< 20	52	< 20	< 10	80	21
AC-MAF-39	9	1	198	1104	3211	21	89	20	53	< 20	20	90	19
AC-SMG-47	16	2	143	3901	3219	37	277	< 20	38	< 20	< 10	90	19
AC-SN-60	2	3	15	2752	706	26	352	< 20	92	< 20	< 10	70	19
AC-SN-68	3	2	54	7052	2293	29	195	< 20	83	< 20	< 10	80	19
AC-95	< 1	6	28	269	292	19	806	< 20	44	< 20	< 10	90	27
AC-106	< 1	5	31	84	133	25	649	< 20	47	< 20	< 10	< 30	33

Tabela 7 – Dados litogeoquímicos das amostras da Ilha do Cabo Frio (continuação).

Código	Ge	As	Rb	Nb	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr
AC-01	1	< 5	54	48	< 2	< 0.5	< 0.2	< 1	< 0.5	< 0.5	120	235	26
AC-EN-07	1	< 5	27	63	9	< 0.5	< 0.2	1	< 0.5	2,1	183	292	30
AC-SFG-07	1	< 5	292	275	5	2,8	< 0.2	2	< 0.5	4,6	234	258	15,2
AC-TP-11	1	6	243	323	10	2,5	< 0.2	2	0,9	4,1	226	302	20,6
AC-DQ-23	1	< 5	153	192	3	1,8	< 0.2	3	< 0.5	0,8	182	327	30,7
AC-MAF-39	< 1	< 5	23	25	3	< 0.5	< 0.2	< 1	0,7	< 0.5	66,8	136	15,9
AC-SMG-47	1	< 5	53	97	2	0,7	< 0.2	2	< 0.5	0,6	101	217	25,8
AC-SN-60	1	< 5	104	97	4	0,8	< 0.2	2	< 0.5	1,1	123	214	20,6
AC-SN-68	1	< 5	57	100	< 2	< 0.5	< 0.2	2	< 0.5	< 0.5	120	236	25,3
AC-95	1	< 5	260	202	3	1,8	< 0.2	1	< 0.5	4,3	159	208	15
AC-106	1	< 5	175	232	< 2	1,6	< 0.2	2	< 0.5	< 0.5	131	191	13,7

Código	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta
AC-01	93,6	14,1	5,08	10,4	1,3	6,7	1,2	3	0,39	2,1	0,33	2,8	3,3
AC-EN-07	108	18,6	5,83	14,3	1,8	9,6	1,7	4,3	0,54	3,1	0,44	3,3	4,1
AC-SFG-07	29,8	2,7	0,53	1,8	0,3	2,2	0,5	1,9	0,38	3	0,53	16,2	9,6
AC-TP-11	43,3	4,2	0,75	2,8	0,5	3,5	0,8	3	0,52	4,1	0,68	15,1	15,6
AC-DQ-23	89,6	12,2	1,1	7,4	1,1	6,6	1,2	3,7	0,56	3,8	0,6	14,3	14,6
AC-MAF-39	63,5	10,1	3,64	8	1	5	0,9	2,2	0,27	1,5	0,2	1,8	1,8
AC-SMG-47	99,8	17	5,9	12,6	1,6	8,5	1,5	3,9	0,5	2,9	0,46	5,6	5,9
AC-SN-60	63,6	8,6	3,65	6,1	0,8	4,7	0,9	2,7	0,37	2,4	0,38	6,6	6,6
AC-SN-68	82	11,7	7,09	7,9	1,1	6	1,1	3	0,38	2,3	0,33	4,1	7,8
AC-95	35,5	4,1	0,96	2,7	0,4	2,3	0,5	1,6	0,26	1,9	0,3	11,4	11,1
AC-106	30,6	3,6	0,7	2,4	0,4	3	0,7	2,4	0,44	3,2	0,53	10,6	12,7

Tabela 7 – Dados litogeoquímicos das amostras da Ilha do Cabo Frio (continuação).

Código	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
AC-01	448	< 0.1	8	< 0.4	5	1
AC-EN-07	417	0,1	7	< 0.4	21,3	0,9
AC-SFG-07	352	0,6	26	< 0.4	46,6	10,6
AC-TP-11	342	0,4	25	< 0.4	50,1	12,3
AC-DQ-23	406	0,2	18	< 0.4	29,7	7,5
AC-MAF-39	303	< 0.1	5	< 0.4	2,6	0,5
AC-SMG-47	303	0,1	< 5	< 0.4	6	1,2
AC-SN-60	391	0,2	10	< 0.4	13,4	3
AC-SN-68	476	< 0.1	7	< 0.4	6,6	1,3
AC-95	264	0,4	27	< 0.4	50,2	9,8
AC-106	207	0,2	< 5	< 0.4	41,4	6,3

Tabela 8 – Norma CIPW das amostras da Ilha do Cabo Frio.

Código	Q	C	Or	Ab	An	Ne	Ns	Di	Wo	Hy	Ol	Il	Tn	Pf	Ru	Ap	Soma
AC-01	0,000	0,000	16,429	35,708	21,470	0,000	0,000	1,710	0,000	0,000	5,973	0,507	2,141	2,158	0,000	2,748	88,844
AC-EN-07	0,000	0,000	10,283	13,730	17,277	15,619	0,000	12,648	0,000	0,000	5,946	0,481	0,000	6,606	0,000	3,127	85,717
AC-SFG-07	0,000	0,000	38,236	28,127	0,000	23,095	1,650	1,615	1,005	0,000	0,000	0,435	0,000	0,000	0,000	0,000	94,164
AC-TP-11	0,000	0,000	37,822	24,295	0,000	25,493	2,122	0,967	1,464	0,000	0,000	0,496	0,000	0,161	0,000	0,047	92,868
AC-DQ-23	1,528	0,848	36,227	51,616	3,360	0,000	0,000	0,000	0,000	0,125	0,000	0,107	0,000	0,000	0,222	0,095	94,128
AC-MAF-39	0,000	0,000	7,033	24,296	37,106	1,782	0,000	6,433	0,000	0,000	4,352	0,302	0,000	3,121	0,000	3,198	87,622
AC-SMG-47	0,000	0,000	15,424	27,769	19,597	2,101	0,000	3,747	0,000	0,000	8,698	0,533	0,000	5,567	0,000	2,345	85,782
AC-SN-60	0,000	0,000	33,272	49,724	3,896	1,117	0,000	2,942	0,000	0,000	0,354	0,372	0,000	0,959	0,000	0,355	92,990
AC-SN-68	0,012	0,000	22,575	47,893	11,225	0,000	0,000	1,536	0,000	3,423	0,000	0,404	3,369	0,000	0,000	1,019	91,456
AC-95	0,000	0,000	38,531	26,053	0,000	21,866	0,553	2,042	1,429	0,000	0,000	0,364	0,000	0,418	0,000	0,142	91,399
AC-106	2,442	6,773	29,667	53,901	0,447	0,000	0,000	0,000	0,000	0,797	0,000	0,034	0,000	0,000	0,366	0,000	94,427