




Relações de contato entre rochas alcalinas máficas e sieníticas na Praia do Jabaquara, setor norte da Ilha de São Sebastião, SP

Contact relationships between mafic and syenitic alkaline rocks in Jabaquara Beach, northern sector of São Sebastião Island, SP

Marco Timich¹, Rogério Guitarrari Azzone¹ , Gaston Eduardo Enrich Rojas¹ ,
Saulo Vieira da Silva Filho¹, Excelso Ruberti¹ , Celso de Barros Gomes¹

¹Universidade de São Paulo - USP, Instituto de Geociências, Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, CEP 05508-080, São Paulo, SP, BR (marco.timich@usp.br; rgazzone@usp.br; gastonenrich@usp.br; saulo.vieira.filho@usp.br; exrubert@usp.br; cgomes@usp.br)

Recebido em 18 de abril de 2019; aceito em 30 de agosto de 2019

Resumo

Relações de contato entre as rochas sieníticas do *stock* de Serraria e as rochas máficas plutônicas e hipoabissais do setor norte da suíte alcalina da Ilha de São Sebastião (Ilhabela) são descritas pela primeira vez, permitindo a indicação de relações temporais entre diferentes pulsos magmáticos. Os afloramentos apresentam variedade sienítica hololeucocrática hospedando mega-, macro- e microxenólitos de diferentes rochas, formando agmatitos. Cinco unidades principais são descritas: álcali feldspato sienitos, melassienitos, diabásios, cumulatos máficos (melagabros/clinopiroxenitos) e gabros heterogêneos. Geoquimicamente, o magmatismo alcalino bimodal encontrado na ilha é bem representado pelas rochas dos afloramentos estudados. A sequência de eventos magmáticos consiste em: colocação e cristalização de pulsos de magmas básicos alcalinos, em ambiente de câmara magmática, gerando as variedades gabbroicas cumuláticas, principalmente melagabros e clinopiroxenitos com olivina, e brechas de matriz gábrica com evidências de reequilíbrio textural por ação de temperatura; intrusão de novos pulsos de magma básico alcalino, representados pelos fragmentos de diabásios, que apresentam também, reequilíbrio textural (textura granoblástica predominante); intrusão de pulso sienítico na câmara máfica que fragmentou o gabro já parcial ou totalmente cristalizado, transportando ampla proporção de xenocristais e xenólitos, o que gerou rochas classificadas como melassienitos; nova intrusão de pulso sienítico, que fragmenta todo o sistema formando um agmatito com megaxenólitos e microxenólitos de gabro cumuláticos, diabásios, agmatitos de matriz gabbroica (gabros heterogêneos) e melassienitos; veios e diques de pegmatito e aplito de sienitos com quartzo cortam todos os litotipos. Todos os tipos amostrados como xenólitos apresentam algum grau de recristalização e de reação química com o magma sienítico final que os hospeda.

Palavras-chave: Rochas alcalinas; Magmatismo bimodal; Agmatitos.

Abstract

Contact relationships between syenitic rocks of the Serraria stock and plutonic to hypoabissal mafic rocks of the northern sector of the alkaline suite of São Sebastião Island are described here for the first time, allowing the indication of temporal relationships between different magmatic batches. The outcrops show a hololeucocratic syenitic variety hosting mega-, macro- and microxenoliths from different rocks forming agmatites. Five main rock units were described: alkali feldspar syenites, melasyenites, diabases, mafic cumulates (melagabbro/clinopyroxenite), and heterogeneous gabbros. Geochemically, the bimodal alkaline magmatism found on the island is well represented by the studied rocks. The sequence of magmatic events is as follows: emplacement and crystallization of basic alkaline magma batches in a magmatic chamber, forming a varieties of gabbroic cumulates, mainly olivine-bearing melagabbros and clinopyroxenites, and breccias with gabbroic matrix with evidences of textural reequilibrium by thermal action; new intrusions of alkaline basic magma batches, represented by diabase fragments, which also present textural reequilibrium (predominant granoblastic texture); syenitic magma intrusion in the mafic chamber, which fragmented the already partially or fully crystallized gabbro, carrying a large proportion of xenocrysts and xenoliths, and forming melasyenite; new syenitic magma intrusion, which fragmented the whole system forming an agmatite with megaxenoliths and microxenoliths of cumulative gabbro, diabase, agmatite with gabbroic matrix (heterogeneous gabbros) and melasyenite; pegmatite veins and dykes of quartz syenites crosscutting all lithotypes. All types sampled as xenoliths have some degree of recrystallization and chemical reaction with the final syenitic host magma.

Keywords: Alkaline rocks; Bimodal magmatism; Agmatites.

INTRODUÇÃO

Os complexos alcalinos de idade Mesozoica a Cenozoica da região sudeste da Plataforma Sul-Americana estão distribuídos principalmente ao longo de faixas móveis ligadas ao Ciclo Brasileiro, situando-se às margens das bacias sedimentares do Paraná, de Santos e de Pelotas. Conforme Gomes e Comin-Chiaromonti (2017), diversos pulsos de atividade magmática alcalina na Plataforma Sul-Americana deixaram registros em territórios do Brasil, Paraguai, Bolívia e Uruguai. Segundo esses autores, são, ao todo, mais de 200 registros conhecidos de rochas alcalinas dispostas em diferentes províncias de acordo com critérios petrográficos, geocronológicos, geoquímicos e geotectônicos (e.g., Ulbrich e Gomes, 1981; Almeida, 1983; Riccomini et al., 2005). Um dos agrupamentos é referido como Província Alcalina Serra do Mar (cf. Riccomini et al., 2005) e tem visível orientação para NE, sendo paralelo à linha de costa dos Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro. Essa província foi dividida por esses autores em três setores: norte, centro e sul, que correspondem a áreas de soerguimentos cenozoicos da região costeira *onshore* do Sudeste brasileiro.

As ocorrências alcalinas brasileiras são caracterizadas por associarem rochas muito distintas que se distribuem por áreas relativamente pequenas (Ulbrich e Gomes, 1981; Morbidelli et al., 1995; Gomes e Comin-Chiaromonti, 2017), reunindo tipos sieníticos, máficos-ultramáficos cumuláticos, kimberlíticos e/ou carbonatíticos, entre outros. Por conta dessa característica, o estudo sobre as ocorrências brasileiras permite o reconhecimento e a caracterização de processos magmáticos distintos, tais como: cristalização fracionada (e.g., Ilha de Búzios; Gomes et al., 2017), assimilação de rocha encaixante (e.g., Ponte Nova; Azzone et al., 2016), imiscibilidade de líquidos (e.g., Juquiá; Beccaluva et al., 1992) ou, ainda, diversidade de fontes mantélicas (e.g., Itatiaia; Brotzu et al., 1997; diques alcalinos da Serra da Mantiqueira; Azzone et al., 2018). Particularmente, feições de hibridização e/ou relações temporais entre pulsos de caráter bimodal são também citadas nas ocorrências de Poços de Caldas (Ulbrich et al., 2005; Ricardi e Vlach, 2007), da Ilha do Monte de Trigo (Enrich et al., 2009), do Morro de São João (Brotzu et al., 2007) e de Banhadão (Ruberti et al., 2012).

A Suíte Alcalina da Ilha de São Sebastião é encontrada no setor norte da Província Alcalina Serra do Mar, juntamente com outras quatro ocorrências — as ilhas de Monte de Trigo, Búzios e Vitória, além do Maciço de Ponte Nova, nos altos da Serra da Mantiqueira (Figura 1A; Riccomini et al., 2005). A Ilha de São Sebastião (23°54'S, 45°15'W) é uma das maiores ilhas inteiramente marinhas do Brasil e tem área de 336 km². A sua geologia é composta por um terreno remanescente do embasamento granítico pré-cambriano da região (ortognaisses e metatexitos do Complexo Costeiro e hornblenda-biotita granodioritos do Ediacariano,

Província Mantiqueira; Perrota et al., 2005) intrudido por três *stocks* sieníticos principais (Figura 1B): Serraria (65 km²), São Sebastião (55 km²) e Mirante (16 km²). Corpos gábricos cumuláticos de menor extensão e volume estão presentes nas adjacências (Freitas, 1947; Hennies e Hasui, 1977; Bellieni et al., 1990; Enrich et al., 2005). As idades reportadas, de 85-84 Ma (cf. Sonoki e Garda, 1988; Sato et al., 2008; Passarelli et al., 2009), são do Neocretáceo. Também ocorrem diques subalcalinos ligados ao evento toleítico do Eocretácio (Bellieni et al., 1990) e que intrudem principalmente as encaixantes pré-cambrianas. Diques alcalinos neocretácicos foram também descritos por vários autores (Bellieni et al., 1990; Garda et al., 1995; Thompson et al., 1998), e intrudem inclusive os *stocks* alcalinos.

O presente trabalho teve por foco a caracterização das relações de contato entre as rochas sieníticas do *stock* Serraria e as rochas gábricas do norte da Ilha de São Sebastião. Relações de contato entre gabros e sienitos ainda não haviam sido descritas *in situ* nessa área e para esse complexo. Para atingir esse objetivo, afloramentos-chave da região da Praia do Jabaquara foram estudados em detalhe à procura de diferenças texturais, microestruturais e mineralógicas. Além disso, algumas amostras foram selecionadas para caracterização geoquímica de elementos maiores, menores e traço, visando a um melhor entendimento dos processos magmáticos ocorridos. Por fim, buscou-se estabelecer uma sequência de eventos magmáticos responsáveis pela colocação dos diferentes tipos de magmas alcalinos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo situa-se nas proximidades da Praia do Jabaquara, sendo o acesso aos afloramentos feito por uma trilha utilizada por pescadores que leva ao lado oeste do costão rochoso. A entrada da trilha está a cerca de 50 m acima do nível da praia, pouco metros antes do mirante. Os caminhamentos realizados abrangeram o costão ao norte e ao sul dessa praia, com maior detalhamento no primeiro (Ponta das Furnas), em vista da maior variedade dos litotipos e da complexidade de suas relações. Na Figura 2 é mostrada a localização dos principais pontos de amostragem.

O estudo das seções delgadas ao microscópio petrográfico se deu com microscópios petrográficos marca Olympus, modelo BX40 e BX50, e uma câmera digital Olympus E330 acoplada. As atividades incluíram caracterização, descrição e documentação fotográfica da mineralogia e de seus aspectos texturais. As rochas sieníticas e gábricas foram classificadas segundo critérios propostos por Le Maitre et al. (2002). Análises geoquímicas de rocha total foram realizadas por fluorescência de raios X (FRX) e espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) nos laboratórios do Núcleo de apoio à Pesquisa (NAP) GeoAnalítica-USP.

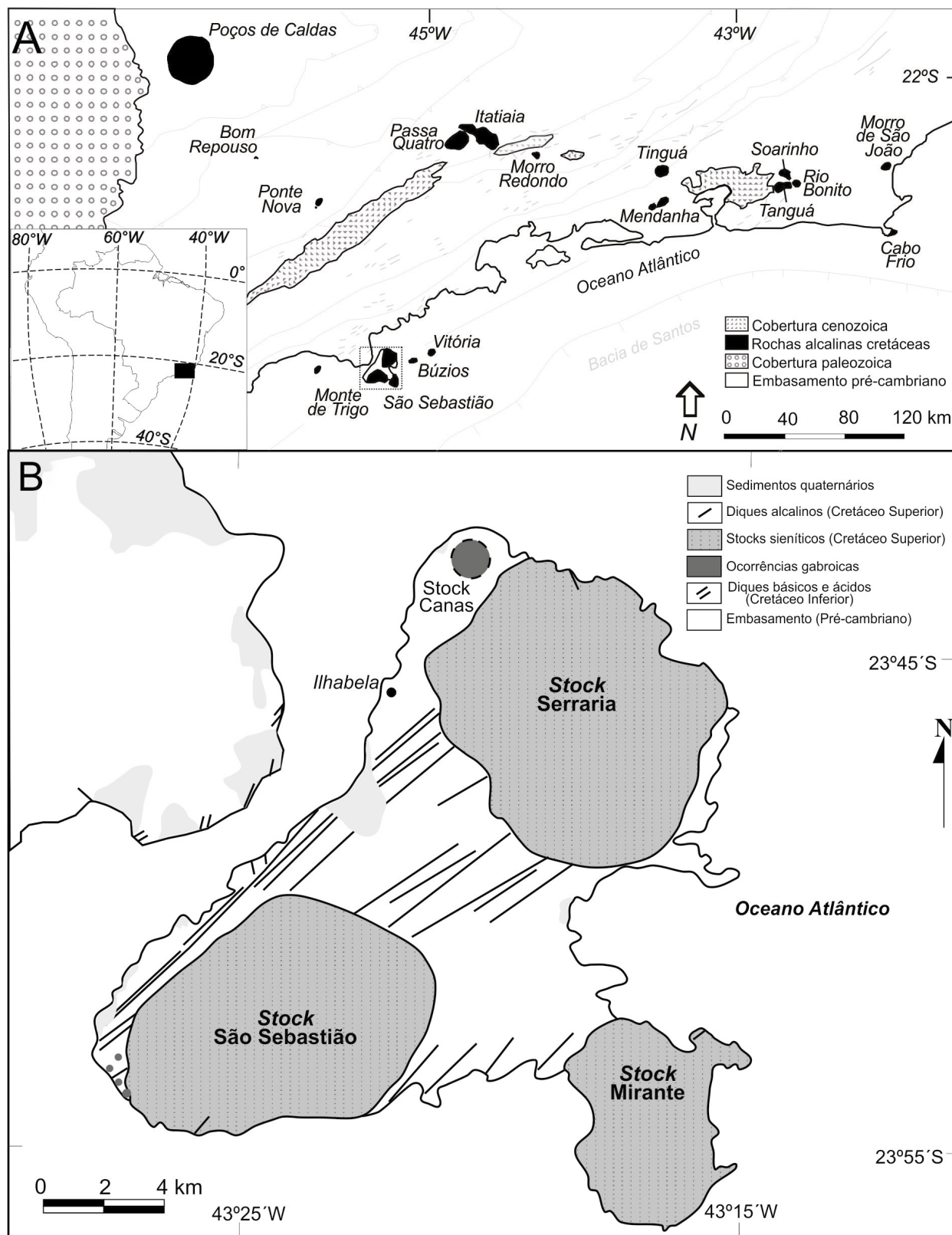


Figura 1. (A) Mapa geológico esquemático do setor norte da Província Alcalina Serra do Mar, bem como da Província do Alinhamento Magmático de Cabo Frio, restritas ao sudeste brasileiro, conforme Riccomini *et al.* (2005). (B) Mapa geológico da suíte alcalina da Ilha de São Sebastião, modificado de Hennies e Hasui (1977).

Para a realização das análises geoquímicas, coletaram-se amostras representativas sem vestígios de intemperismo com tamanho equivalente a um cubo de arestas com tamanho dez vezes maior que a maior fase mineral encontrada (Potts, 1992). No Laboratório de Tratamento de Amostras do NAP GeoAnalítica-USP, 17 amostras foram reduzidas a frações pequenas, pulverizadas num moinho de anéis de ágata e, posteriormente, micronizadas (7,5 g) com álcool por aproximadamente 20 minutos. Ao pó gerado foram acrescentados 20% em peso de parafina e foi feita a homogeneização do material, produzindo pastilhas de pó prensadas para análise de elementos-traço por FRX. Aliquotas das amostras pulverizadas a partir do moinho de ágata foram pesadas ($1 \pm 0,001$ g) e a elas acrescentaram-se fundentes químicos (metaborato e tetraborato de lítio, $9 \pm 0,001$ g) e nitrato de amônia para produção de pastilhas fundidas em cadinhos de platina, utilizando-se de máquina de fusão TheOX, do fabricante Claisse. As pastilhas prensadas e fundidas foram analisadas em um espectrômetro de FRX, da marca PANalytical, modelo Axios MAX Advanced. Duplicatas foram feitas a cada 5 amostras para controle de possíveis oscilações na análise geoquímica do equipamento utilizado. As análises dos elementos-traço e terras-raras via ICP-MS foram realizadas em instrumento da marca Perkin

Elmer, modelo Quadropolo ELAN 6100 DRC. Para tanto, alíquotas das amostras pulverizadas foram pesadas (0,05 g) e sofreram ataque-ácido com 5 mL de ácido nítrico (HNO_3) e 15 mL de ácido fluorídrico (HF). A Perda ao Fogo, por técnica de gravimetria, foi realizada no Laboratório de Química do NAP GeoAnalítica-USP. Após secagem em estufa, fez-se a pesagem das amostras em cadinhos de porcelana para aproximadamente 0,5 g. Após o aquecimento a $\pm 1.000^\circ\text{C}$, uma nova pesagem foi feita, comparando-se a porcentagem de voláteis que se dispersou.

GEOLOGIA

A área onde se nota a interação entre rochas gábricas e sieníticas foi anteriormente registrada por Freitas (1947) e Hennies e Hasui (1977) como constituída de rochas sieníticas do *stock* Serraria, embora sem um mapeamento de detalhe e, à época, com possível impossibilidade de acessos. Ainda não havia sido registrada para a ilha relações de contato entre os gabros que ocorrem na porção norte da ilha e o *stock* de Serraria. Apenas a presença do corpo gabroico de Canas é registrada, sem nenhuma relação temporal ou de contato com os sienitos. Para as ocorrências gabroicas da porção norte,

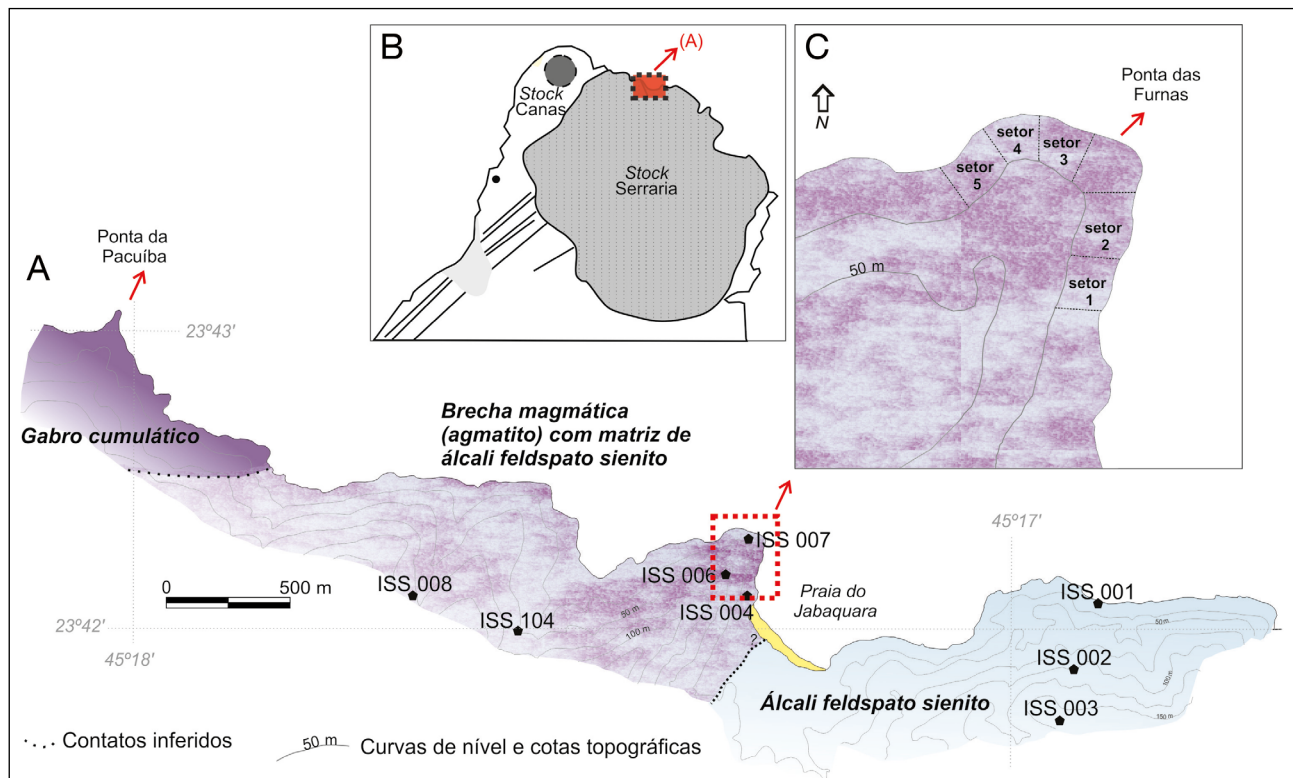


Figura 2. (A) Esboço geológico da região próxima à linha de costa no setor norte da Ilha de São Sebastião. A região de costa próxima à Ponta da Pacuíba é mapeada como unidade de gabros cumuláticos em função da grande quantidade de blocos dessa litologia ali presentes, apesar de não haver indicação do local exato da ocorrência in situ destes; (B) indicação da área de estudo no stock Serraria; (C) principais áreas de coleta de amostras.

é importante o registro de um verdadeiro “mar de blocos” de gabros acamadados na região da Ponta da Pacuíba, Praia da Armação e Canas, especialmente junto à linha de costa. É difícil uma indicação de que tais ocorrências se encontram *in situ*, sendo esperado ao menos algum tipo de basculamento desses blocos. Lajedos, cortes e evidências mais inequívocas da ocorrência de gabros *in situ* não foram encontrados. Porém, o solo vermelho terroso junto a esses blocos sugere que a região de ocorrência destes pode ser considerada associada à área do corpo gábrico. Por isso, na Figura 1A, a área relativa à Ponta da Pacuíba está sendo considerada como de ocorrência de gabros cumuláticos. Para a região foco deste trabalho, uma zona de brecha magmática, com pouco mais de 1 km de largura, faz a transição de contato entre os gabros acamadados aflorantes (na região da Ponta da Pacuíba, Praia da Armação e Canas) e os sienitos do stock Serraria (Figura 2A).

Com base nas observações realizadas, as rochas da área de estudo foram separadas em cinco unidades principais:

- álcali feldspato sienitos;
- melassienitos;
- gabros cumuláticos;
- gabros heterogêneos;
- diabásios.

Os pegmatitos e aplitos têm ocorrência mais restrita e foram agrupados em uma unidade homônima. Dadas as dimensões dos afloramentos, a área foi subdividida em setores de forma a facilitar a coleta de amostras e a apresentação e controle dos dados.

A feição local mais evidente é a de brecha magmática. Conforme Ulbrich (1986) e Jerram e Petford (2014), uma brecha magmática que contém blocos angulosos a arredondados de rocha encaixante (gabros cumuláticos, diabásios e melassienitos) em matriz de rocha plutônica (no caso, predominantemente álcali feldspato sienítica), com os blocos representando mais de 25% de seu volume, pode ser chamada agmatito.

Os álcali feldspato sienitos constituem a rocha dominante na porção NW da Praia do Jabaquara. Eles afloram em enormes blocos rolados, lajedos e afloramentos de costões, ambos *in situ* e próximos ao nível do mar, ou em descampados nas encostas das montanhas. Uma característica marcante dessas rochas é a presença de sulcos oriundos do intemperismo, como as caneluras, uma feição também observada em outros maciços sieníticos, como os da Ilha Monte de Trigo (Enrich et al., 2009) e de Itatiaia, Rio de Janeiro (Rosa e Ruberti, 2018). Os álcali feldspato sienitos são a principal matriz dos agmatitos (Figuras 3 a 7).

Os fragmentos de gabros cumuláticos têm dimensões muito variáveis, desde fragmentos subcentimétricos até blocos quase decamétricos. Xenólitos menores, com tamanho de até 50 cm, são subarredondados ou angulosos, podendo ocorrer isolados ou agrupados em grandes quantidades (Figura 4). Além disso, são também encontrados com formato sinuoso alongado e afunilado nas extremidades, normalmente junto a xenólitos maiores. Os fragmentos maiores são, em sua maioria, angulosos.

Os diabásios ocorrem como xenólitos centimétricos a decamétricos. Em geral, os fragmentos são angulosos ou subarredondados e formam, no setor 1 (Figura 3), um padrão que se assemelha a

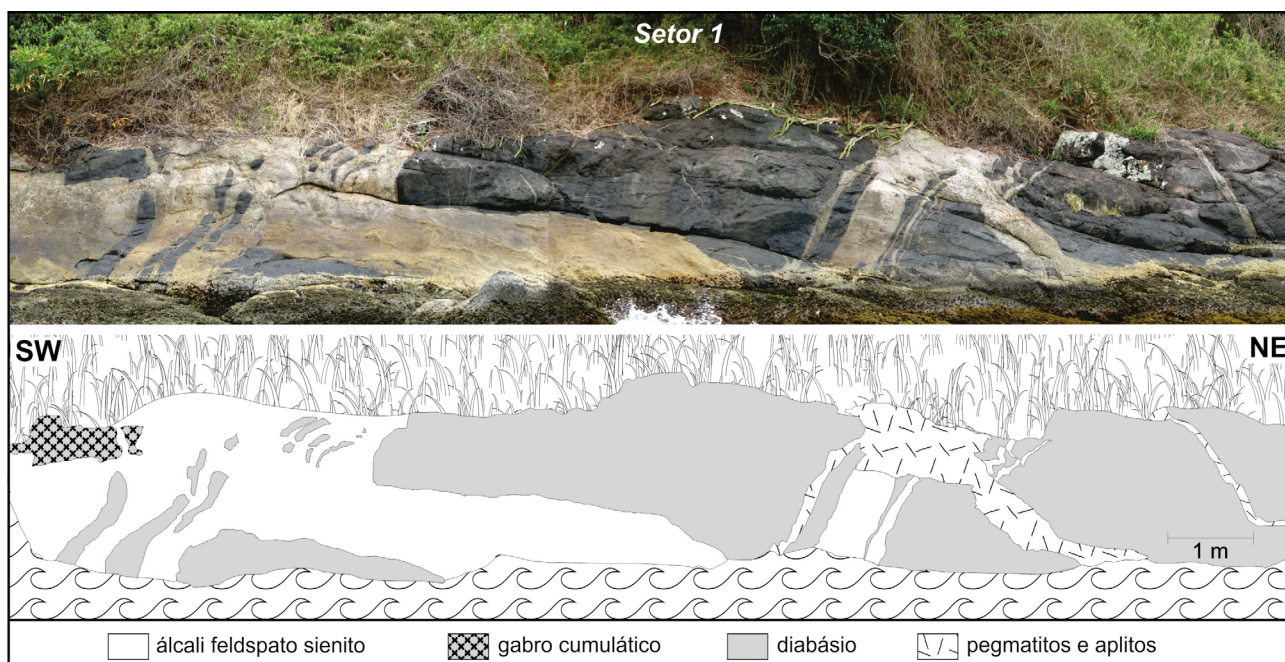


Figura 3. Foto e croqui do setor 1 do costão rochoso a NNW da praia do Jabaquara, conforme indicado na Figura 2C.

um dique tabular rompido, mostrando, um pouco acima, pequenos fragmentos que se dispõem de forma concêntrica. Porém, a julgar pelos contatos e pelas texturas de reequilíbrio (vide item petrografia), acredita-se que representam apenas fragmentos de megaxenólitos que foram fraturados paralelamente e que mantêm relações próximas com o xenólito maior (Figura 3).

Os melassienitos afloram nos setores 4 e 5 (Figuras 6 e 7), caracterizando um contato abrupto com os álcali

feldspato sienitos. A zona de contato tem orientação paralela à linha de costa e se estende por cerca de 10 m. A interface é bem marcada pela diferença de cor das rochas e por uma leve sobrelevação entre as rochas, possivelmente decorrente da diminuição da granulação nessa área. Um xenólito de granulação mais fina foi observado nessa interface, com o melassienito ocupando a porção inferior e o álcali feldspato sienito, a superior.

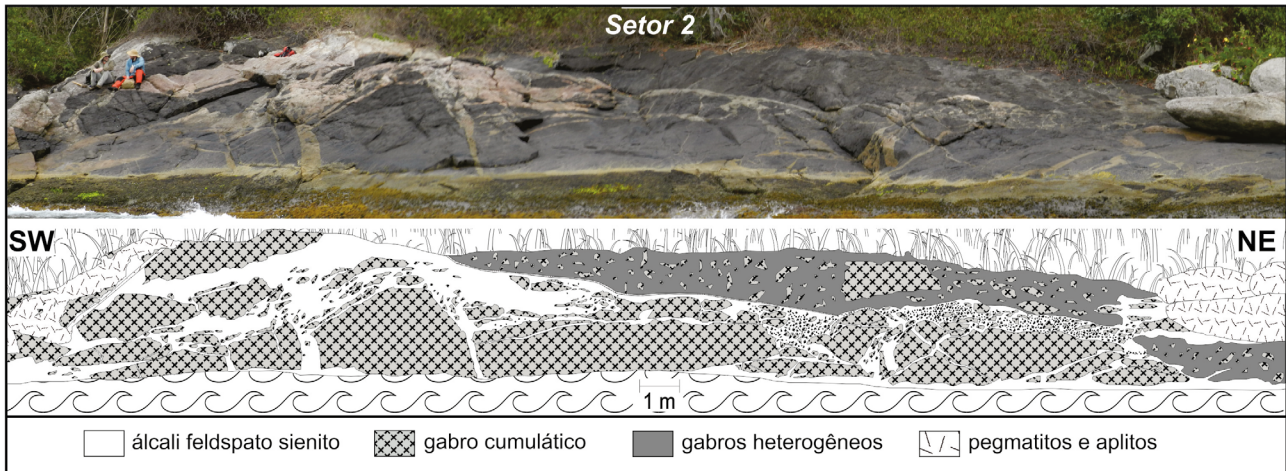


Figura 4. Foto e croqui do setor 2 do costão rochoso a NNW da praia do Jabaquara, conforme indicado na Figura 2C.

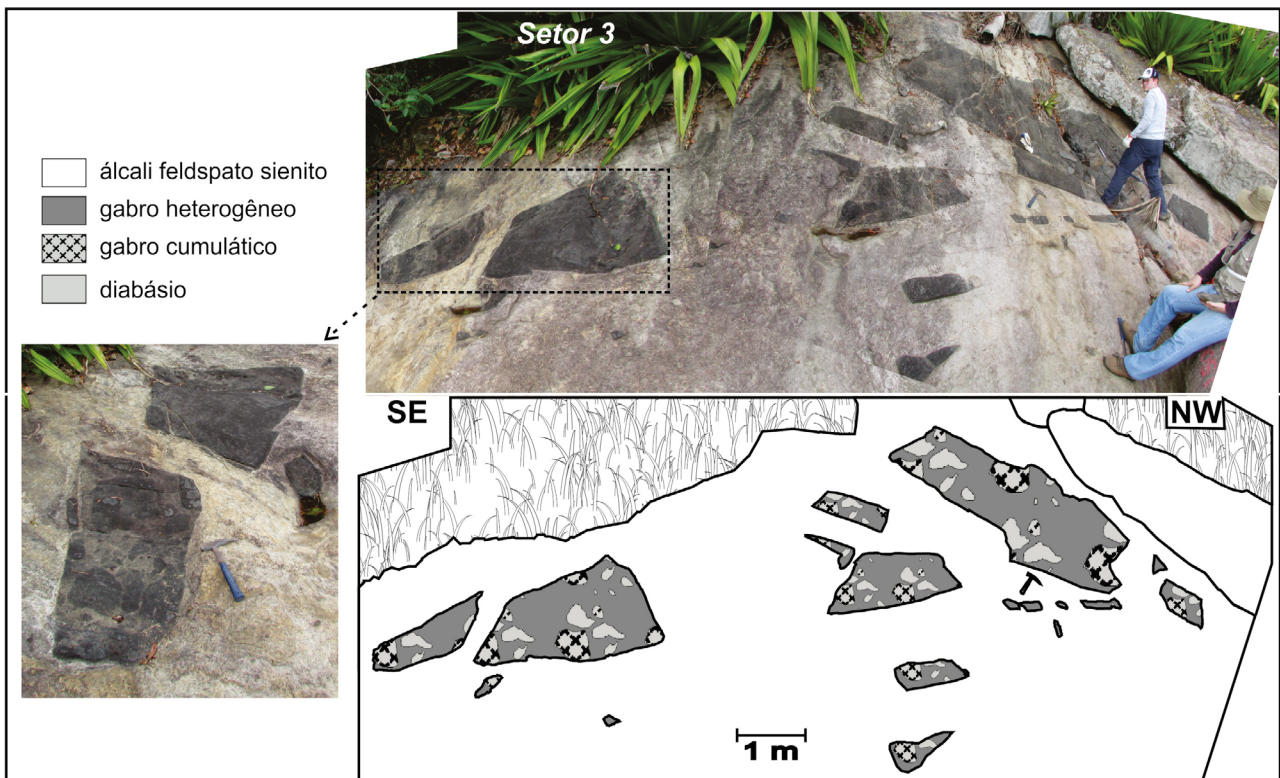


Figura 5. Foto e croqui do setor 3 do costão rochoso a NNW da praia do Jabaquara, conforme indicado na Figura 2C.

Ainda assim, acima do contato, são encontrados xenólitos angulosos, com dimensões de 0,5 a 4 m, de agmatitos de matriz gábrica nos álcali feldspato sienitos (Figuras 4, 5 e 7). Nesses fragmentos predomina a matriz gabroica que hospeda xenólitos angulosos a arredondados, com tamanho máximo de 1 m, de cumulatos máficos a ultramáficos e diabásios. Mencione-se que blocos de brecha magmáticas de matriz gabroica e com fragmentos de cumulatos máficos foram encontrados na Ponta da Pacuíba, em zona referida como pertencente ao corpo gábrico da região. Todos os contatos entre os fragmentos de diabásios, os gabros cumuláticos, melassienitos,

os agmatitos de matriz gábrica e os álcali feldspato sienitos da matriz são abruptos.

Veios e diques pegmatóides com composição sienítica e espessura muito variada, de subcentimétrica a 1 m, foram registrados em todos os setores. Esses veios penetram a maioria dos megaxenólitos. Vênulas aplíticas também são amplamente encontradas, intrusivas em todos os litotipos. Por vezes, registra-se que a passagem dos álcali feldspato sienitos equigranulares para aplitos e pegmatitos parece ser gradativa, sem apresentar contatos abruptos, especialmente para as ocorrências do setor 2, no qual há predominância dos fragmentos de gabros cumuláticos na matriz álcali feldspato sienítica.

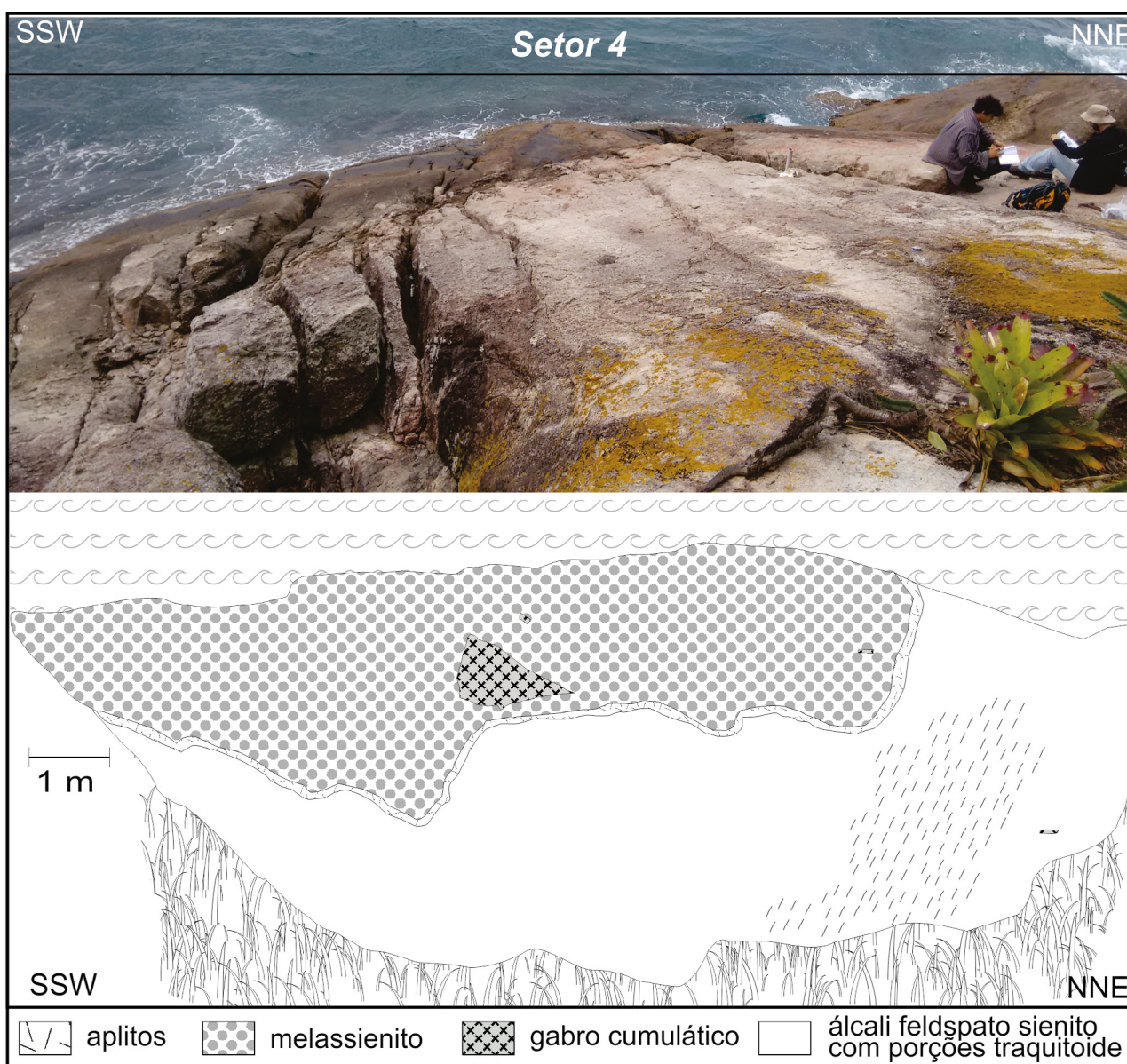


Figura 6. Foto e croqui do setor 4 do costão rochoso a NNW da praia do Jabaquara, conforme indicado na Figura 2C.

PETROGRAFIA

Álcali feldspato sienitos

No geral, essas rochas são maciças inequigranulares (predominando a granulação média e atingindo até a granulação grossa), com cor alaranjada a rósea. Na região dos pontos ISS004 e ISS007 (Figura 2A), foram reconhecidas cavidades mirolíticas, de até 5 cm de diâmetro, preenchidas por quartzo, além de zonas com textura traquitoide que não raramente contêm xenólitos máficos, com cerca de 20 cm de tamanho, suborientados à direção geral dos grãos de feldspato alcalino. A presença de xenólitos com dimensões muito variadas, oscilando de < 1 cm até 7 m e exibindo formas diversas, é uma feição marcante na unidade.

Microscopicamente, as amostras de álcali feldspato sienitos exibem textura inequigranular seriada, com ou sem orientação fluidal traquitoide, e granulação variada de fina a grossa (Figuras 8A e 8B). Os minerais máficos são intersticiais ao feldspato alcalino e, por vezes, formam agregados. Esses sienitos são compostos principalmente por feldspato alcalino, clinopiroxênio, anfibólio, biotita e opacos. O feldspato alcalino predomina amplamente nas amostras, correspondendo a mais de 90% em volume da rocha.

O feldspato alcalino, pertítico, é subidiomórfico e xenomórfico, de tamanho variável (0,5 a 1,3 cm). Nas poucas variedades equigranulares, o contato entre os grãos de feldspato é geralmente interlobado ou em cúspide, enquanto nas amostras

com textura fluidal a traquitoide ele é geralmente retilíneo. A associação com cristais de biotita mostra um padrão serrilhado, já com o clinopiroxênio o contato é abrupto. Inclusões de biotita, minerais opacos e apatita ocorrem com frequência.

O clinopiroxênio é da série diopsídio-hedenbergita. Ele tem cor bege e verde em tons pastéis. Zonamento composicional é frequente, sendo o centro de cor bege a cinza (augita) e a borda esverdeada (hedenbergita). Os cristais são idiomórficos a subidiomórficos, variando de tamanho de 1 a 1,5 mm. Inclusões de biotita, apatita e alteração para hornblenda são comuns. Não raramente cristais de titanita aparecem associados ao clinopiroxênio. Por vezes, pseudomorfos de clinopiroxênio apresentam-se parcial ou completamente formados por hornblenda e óxidos ou, ainda, por muscovita e carbonatos, envoltos por biotita esverdeada.

O anfibólio é predominantemente hornblenda e faz parte da paragênese de minerais de alteração. Os grãos são idiomórficos ou subidiomórficos, com tamanho de 0,2 a 1,5 mm, e, na maioria das vezes, ocorrem em associação com clinopiroxênio, biotita e opacos. Os cristais maiores de hornblenda estão associados a pseudomorfos de clinopiroxênio. Inclusões de opacos, apatita e óxidos são encontradas com frequência.

A biotita é subidiomórfica a intersticial, com dimensões no intervalo de 0,1 a 1,5 mm, e normalmente ocorre ao lado de clinopiroxênio, hornblenda e minerais opacos. Por vezes, os grãos estão sobrecrecidos ao clinopiroxênio ou, então, distribuídos ao redor dos minerais opacos. Inclusões de titanita,

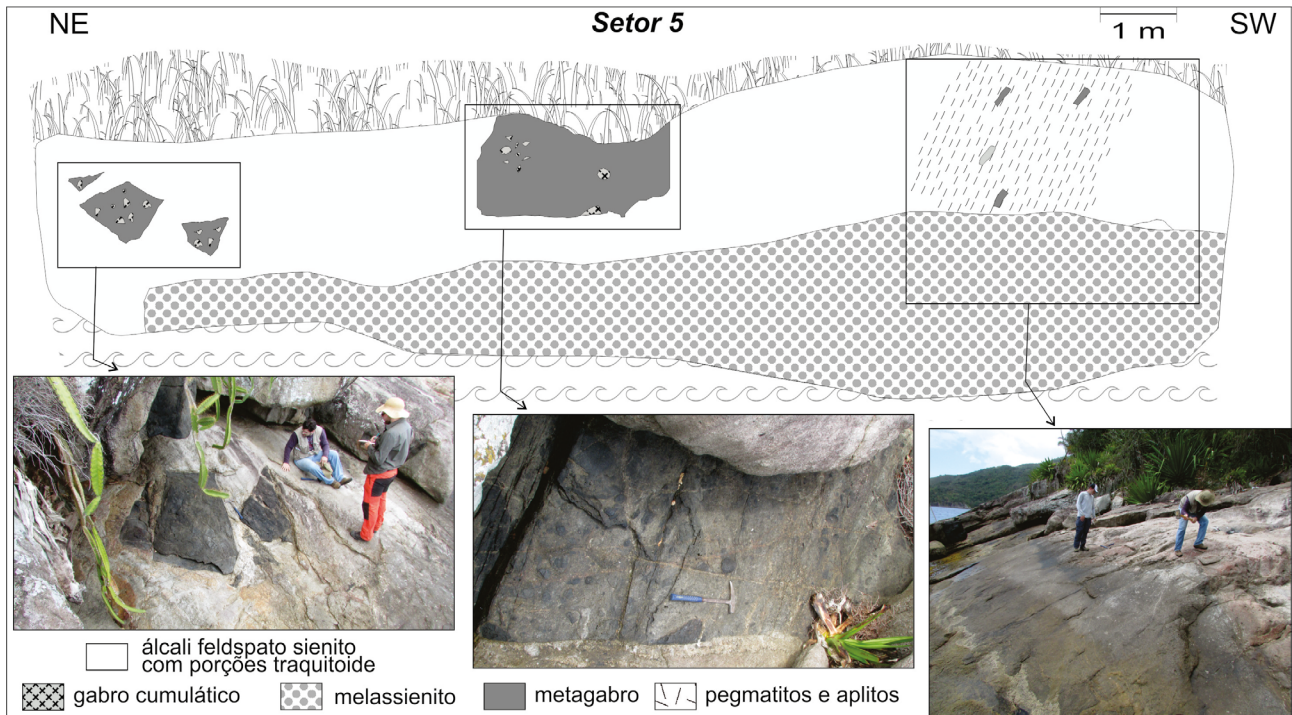
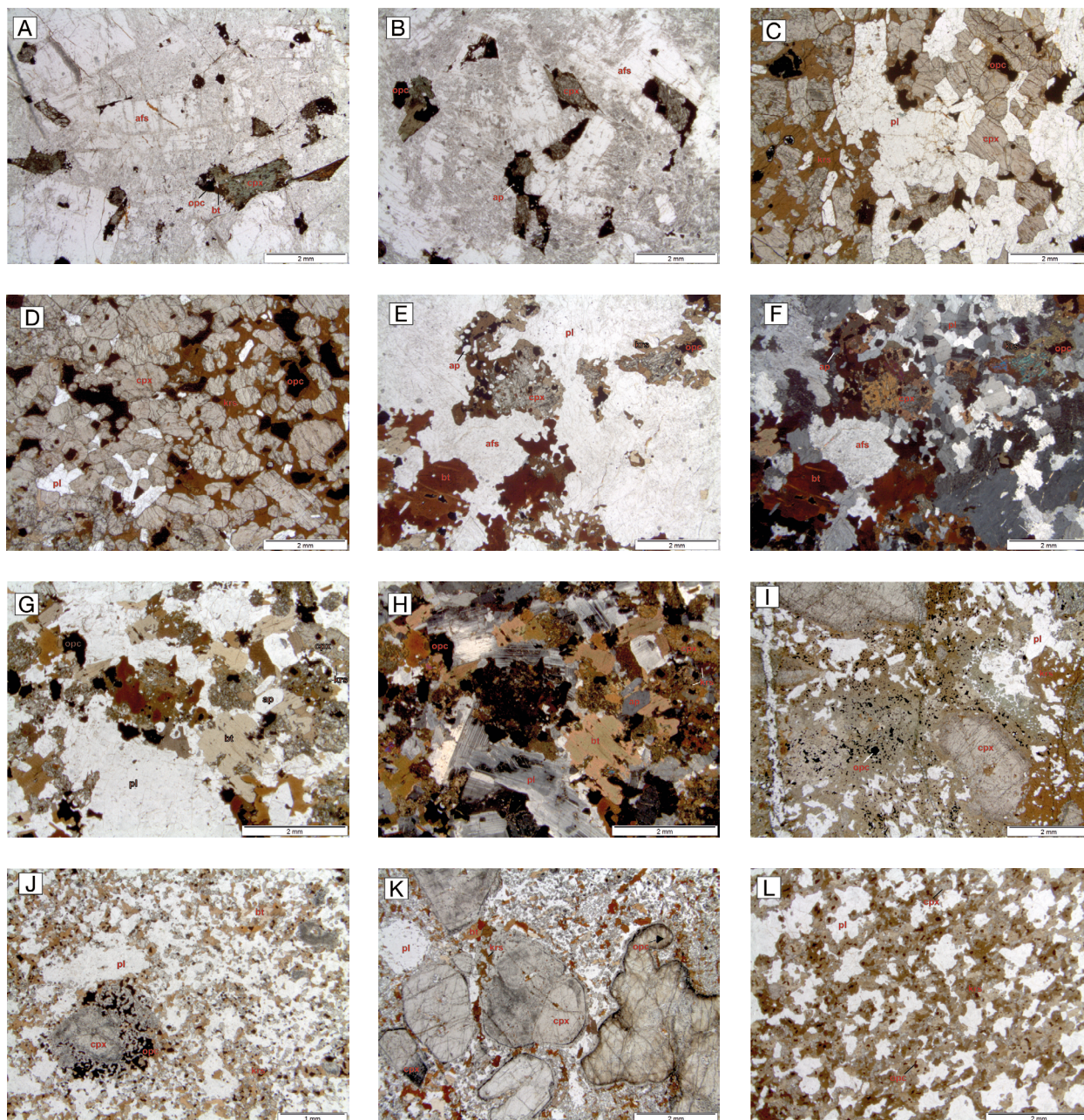


Figura 7. Foto e croqui do setor 5 do costão rochoso a NNW da praia do Jabaquara, conforme indicado na Figura 2C.



Afs: feldspato alcalino; ap: apatita; bt: biotita; cpx: clinopiroxênio; krs: kaersutita; opc: minerais opacos.

Figura 8. Fotomicrografias das principais rochas da região da praia do Jabaquara, setor norte da Ilha de São Sebastião. (A) Álcali feldspato sienito apresentando textura traquitoide média com máficos intersticiais ao feldspato alcalino. (B) Álcali feldspato sienito apresentando textura inequigranular fina a média. (C) Gabro cumulático exibindo cristais granulares subédricos de augita e plagioclásio suborientados, parcialmente inclusos em um oikocristal de anfibólio. (D) Clinopiroxenito cumulático com cristais de augita e opacos, raro plagioclásio e um oikocristal de kaersutita. (E) Melassienito exibindo cristais anedrais de piroxênios e minerais opacos manteados por anfibólio. (F) Mesma foto anterior (E) do melassienito, com polarizadores cruzados, onde se pode observar uma porção anortositica com granulação fina com plagioclásio granular (centro-direita superior) próximo aos cristais de piroxênio anedrais e que estão em contato com álcali feldspato sienito de granulometria média. (G) Gabro heterogêneo com piroxênios anedrais sobrecrecido por anfibólio e cristais subedrais de biotita. (H) Mesma foto anterior (G) do gabro heterogêneo com polarizadores cruzados, destacando o zoneamento apresentado pelos cristais de plagioclásio. (I) Gabro heterogêneo com cristais de augita de granulação média envolvidos por anfibólio zonado (marrom avermelhado a verde) e minerais opacos. (J) Diabásio porfírtico com macrocristais de plagioclásio e augita, esta última com uma borda rica em inclusões anédricas de opacos, e matriz fina com plagioclásio, anfibólio e piroxênio granulares. (K) Diabásio equigranular com elevada concentração de kaersutita granular. (L) Diabásio porfírtico com macrocristais subédricos de augita com bordas reabsorvidas e com finas bordas de sobrecrecimento.

apatita e opacos são frequentes. Uma variedade esverdeada de biotita foi também identificada e parece representar um estágio hidrotermal. Ela se apresenta como cristais subidiomórficos, com dimensões no intervalo de 0,2 a 1,5 mm, que se dispõem ao redor de pseudomorfos de clinopiroxênio.

Minerais opacos, provavelmente magnetita, ocorrem como cristais idiomórficos a subidiomórficos e têm dimensões variáveis de 0,3 a 1 mm. Os cristais aparecem como inclusões em feldspato alcalino, clinopiroxênio, biotita e hornblenda, e, ocasionalmente, contêm apatita no seu interior.

Os principais acessórios são apatita e titanita. O primeiro é idiomórfico ou arredondado e ocorre como inclusão em feldspato alcalino, clinopiroxênio, biotita e opacos. Já a titanita se mostra subédrica, com tamanho máximo de 1 mm, e geralmente está incluída em cristais de biotita e adjacente aos de clinopiroxênio.

Gabros cumuláticos

Essa unidade foi observada nos pontos ISS004, ISS007 e ISS104 (Figura 2A). Em todos os locais, a rocha gábrica aflora como xenólitos, em sua maioria angulosos, no interior dos álcali feldspato sienitos. Porém, em alguns afloramentos eles são demasiado grandes, de extensões métricas a quase decamétricas, de modo que se torna difícil afirmar se todos estão completamente envolvidos pelos álcali feldspato sienitos ou não. Não raramente, os gabros foram também observados como xenólitos menores, subarredondados, com dimensões de 1 a 20 cm, incluídos nos melassienitos. Macroscopicamente, essas rochas têm estrutura maciça e, texturalmente, apresentam variedades equigranulares médias a grossas e com caráter cumulático; ainda, algumas amostras contêm cristais de clinopiroxênio com até 2 cm de tamanho.

Microscopicamente, os gabros são cumuláticos (Figuras 8C e 8D). Texturas subofítica e poiquilítica também foram reconhecidas. Predominam os tipos melanocráticos, classificados como melagabros; melagabros com olivina, clinopiroxenitos e variedades mais leucocráticas, todos associados à evolução do corpo gábrico, também ocorrem. O clinopiroxênio, com cor bege claro e fracamente pleocroico, corresponde a uma augita zonada com titanaugita nas bordas. O mineral ocorre como grãos idiomórficos ou subidiomórficos, por vezes até xenomórficos, com a granulação variando de 0,5 a 2,5 mm; em geral, grãos com 1,5 mm de tamanho são mais abundantes. Comumente os cristais se mostram suborientados. Inclusões de olivina, minerais opacos, apatita e plagioclásio em textura subofítica são recorrentes. A olivina, geralmente de aspecto granular, subédrico a euédrico, também ocorre como fase *cumulus*. O anfibólio apresenta pleocroísmo marrom-vermelho a amarelo típico de kaersutita. Os cristais são subidiomórficos e xenomórficos, de granulação média. Ocorrem quase sempre associados ao clinopiroxênio, provavelmente tendo se formado às suas expensas. Alguns grãos formam oikocristais

com tamanho de cerca de 1 cm, englobando augita e plagioclásio. Inclusões de minerais opacos e apatita são frequentes. Plagioclásio (labradorita, em sua maioria) subidiomórfico aparece como cristais tabulares, localmente granulares, com dimensões de 0,5 a 2,5 mm. A maioria dos cristais apresenta estrutura zonada concêntrica, e raramente observam-se inclusões de minerais opacos e apatita. Estes últimos formam cristais subédricos a granulares e também compõem a associação *cumulus*. Com relação aos minerais de alteração, a hornblenda é xenomórfica, mantendo a kaersutita, e está associada a carbonatos. Biotita tem cor avermelhada e é também formada às expensas da kaersutita. Nefelina intersticial foi observada em uma amostra. Epidoto foi identificado em cristais de plagioclásio saussuritizados.

Estruturas bandadas são encontradas em alguns fragmentos cumuláticos ou em algumas porções dos fragmentos maiores, com textura inequigranular média a grossa. Os gabros bandados são compostos por intercalações de rocha leucocrática (anortositos), mesocrática a melanocrática (gabros a melagabros) e mesmo ultramáficas (clinopiroxenitos). As bandas têm cerca de 6 mm de espessura. Em todos os níveis observa-se orientação subparalela dos grãos ao bandamento: no nível leucocrático, rico em plagioclásio tabular, essa feição é mais evidente. A porção melanocrática exibe bem a estrutura cumulática da rocha, sendo possível identificar clinopiroxênio, olivina, apatita, opacos e plagioclásio como fases *cumulus* e kaersutita como principal fase intercumulus.

Melassienitos

Essas rochas estão presentes na região dos pontos ISS004 e ISS007 (Figura 2A), principalmente na forma de megaxenólitos ocupando área de 3 m² e que estão hospedados nos álcali feldspato sienitos já com característica traquitoide. Conforme a definição estrita de Le Maitre et al. (2002), o prefixo mela pode ser adicionado aos sienitos quando ao volume de máficos (M) for superior a 25%. Nas ocorrências dos megaxenólitos há um amplo intervalo de variação desse parâmetro, sendo que algumas porções apresentam M levemente inferiores ao valor recomendado. Contudo, por motivo de simplificação, toda a unidade é classificada como melassienito.

Nos megaxenólitos, os melassienitos exibem textura inequigranular, com predominância da granulação média. A cor cinza escuro, decorrente de um maior teor de minerais máficos, permite diferenciá-lo dos álcali feldspato sienitos, de cor alaranjada. Os melassienitos hospedam também alguns xenólitos máficos gabroicos ou mesmo anortosíticos, parcialmente recristalizados. Microscopicamente, eles mostram ampla variação textural, com cristais de tamanho fino e médio, embora localmente ocorram megacristais de plagioclásio, xenólitos anortosíticos subarredondados de textura granular e granulometria fina, além de zonas com teor elevado de máficos, formando, em geral, pequenos agregados (Figuras 8E e 8F).

Os xenólitos de anortositos com textura granular contêm cristais de plagioclásio com dimensões entre 0,1 e 0,5 mm. Contudo, quando presentes como macrocristais (prováveis xenocristais), eles chegam a ter 7 mm. O contato entre os cristais é geralmente poligonizado, com junções tríplices com ângulos em 120°, porém ele se mostra mais anguloso quando em associação com os minerais máficos.

O clinopiroxênio corresponde, na maioria dos cristais, a uma augita, com bordas de hedenbergita em alguns casos. Os cristais são subédricos, com cerca de 0,7 mm, ou anédricos, com dimensões entre 0,1 e 0,3 mm, quando intersticiais ao plagioclásio. Muitas vezes, cristais reliquiais de clinopiroxênio indicam sua substituição por kaersutita. Inclusões de minerais opacos, biotita e apatita são muito comuns. O anfólio corresponde às variedades kaersutita/pargasita. Os cristais são subédricos e anédricos, com tamanho entre 0,2 e 2 mm. Os maiores ocorrem associados com titanita e biotita, enquanto os menores estão sobrecrecidos ao clinopiroxênio ou são intersticiais ao plagioclásio granular. Inclusões de opacos, apatita e plagioclásio foram reconhecidas. A biotita é idiomórfica ou subidiomórfica e de tamanho variável entre 0,1 e 1,5 mm. Quando em contato com outras fases máficas, os cristais são maiores e euédricos, porém, quando sobrecrecida aos cristais de minerais opacos, kaersutita e clinopiroxênio, o mineral se apresenta como cristais menores subédricos a anédricos. Inclusões de apatita, clinopiroxênio e minerais opacos são recorrentes. Minerais opacos são subédricos, com cerca de 0,5 mm, ou então anédricos, com 0,1 mm, e, na maior parte das vezes, como inclusões em clinopiroxênio e kaersutita. Apatita acicular ou prismática é frequente como inclusões em kaersutita, clinopiroxênio e biotita. Titanita euédrica ou subédrica, com 0,1 a 0,5 mm, ocorre associada com kaersutita, clinopiroxênio e biotita.

Variantes de melassienito em auréolas reacionais são encontradas próximas ao contato de microxenólitos gabroicos e álcali feldspato sienitos. Essas auréolas parecem sugerir um caráter híbrido para a formação dos melassienitos. Nas proximidades dos contatos, os enclaves gábricos têm maior concentração de kaersutita, em sua maioria sobrecrecendo ou substituindo os cristais de augita cumulática. Por outro lado, já no domínio dos álcali feldspato sienitos, observa-se maior proporção de máficos (principalmente augita-hedenbergita) circundando esses enclaves. Nesse sentido, há a sugestão de que o magma dos álcali feldspato sienitos contribuiu com calor, voláteis e possivelmente álcalis para os xenólitos gábricos, enquanto os componentes ferromagnesianos podem ter sofrido difusão para o líquido adjacente a esse contato.

Gabros heterogêneos

Essas rochas são encontrada sem xenólitos nos álcali feldspato sienitos, coexistindo com todos os outros tipos petrográficos na medida em que constitui a matriz de brecha que contém

xenólitos de gabro cumulático, melassienito e diabásio. Sua mineralogia é similar à dos gabros cumuláticos, porém com maior proporção de plagioclásio (rocha mesocrática) e textura granular predominante. Grãos de plagioclásio recristalizados formam agregados granulares com contato comumente em 120°. A presença de grãos de augita fraturados e sobrecrecidos por kaersutita e biotita é também marcante (Figuras 8G a 8I). Os megaxenólitos presentes nessa unidade são classificados como agmatitos de matriz gabroica. Tal matriz é heterogênea, variando nas concentrações de minerais félsicos, e sugestiva de processos de hibridização entre pulsos magmáticos. Devido à transformação textural apresentada, entende-se que o nome mais preciso para a unidade deveria ser “metagabros heterogêneos”.

Diabásios

Os diabásios, assim como os gabros, são encontrados como xenólitos, em sua maioria angulosos, no interior dos álcali feldspato sienitos. Macroscopicamente, eles apresentam estrutura maciça e textura granular fina a média, localmente porfírica, com matriz fina e fenocristais de clinopiroxênio atingindo até 2 cm de comprimento. São rochas holocristalinas e com ampla variação textural: fanerítica inequigranular, por vezes porfírica; subofítica, intergranular e glomeroporfírica (Figuras 8J a 8L). A granulação é também variável, passando de fina a média, podendo ainda conter macrocristais de clinopiroxênio ou plagioclásio. Usualmente, nas amostras ricas em macrocristais euédricos, a matriz é muito fina, enquanto nas amostras com menos macrocristais ela é fina a média. Nestas últimas, os cristais maiores são xenomórficos com bordas de sobrecrecimento marcadas por inclusões de minerais opacos e contatos interlobados com outros cristais. Em geral, a matriz é constituída por plagioclásio granular. Agregados de minerais máficos compostos por cristais de augita e kaersutita, com olivina granular subordinada, e bolsões glomeroporfíricos de plagioclásio podem corresponder a xenólitos ou autólitos carregados por esses magmas. O índice de máficos é de ~60, sendo a kaersutita a fase mais abundante.

O plagioclásio é comumente granular, com os cristais variando em tamanho entre 0,1 e 0,5 mm. Nesses bolsões, as dimensões são maiores, de 0,3 a 0,7 mm. O contato entre os cristais é, muitas vezes, poligonizado, com junções tríplices com ângulos em 120°, com os cristais classificados como labradorita. Os cristais de clinopiroxênio são anédricos ou subédricos, de tamanho entre 0,1 e 0,2 mm. Quando em agregados, as suas dimensões são maiores, entre 0,5 e 1 mm; e, como macrocristais, são ainda maiores, podendo atingir até 3 mm. A sua distribuição é irregular e eles apresentam frequentemente lamelas de exsolução. Por vezes, apresentam olivina, minerais opacos e apatita como principais inclusões. O principal anfólio exibe pleocroísmo típico da kaersutita. O mineral é subidiomórfico, xenomórfico, de forma

granular e com dimensões variáveis entre 0,1 e 0,2 mm. Quando xenomórfico, dispõe-se ao redor dos cristais de augita, indicando claramente a sua derivação a partir desse mineral. Inclusões de minerais opacos e apatita são comuns, e de clinopiroxênio são mais raras. Grãos subédricos de olivina, com tamanho de 0,2 a 1 mm, também são encontrados. Os cristais ocorrem geralmente concentrados, formando agregados junto ao clinopiroxênio. A maioria dos cristais de olivinas está substituída por iddingsita. Minerais opacos são usualmente xenomórficos, sobrecrecidos aos cristais de clinopiroxênio, ou de ocorrência intersticial, com o tamanho dos grãos variando de 0,1 a 0,5 mm. Apatita tem forma prismática ou arredondada e aparece como inclusão em augita e kaersutita. Como minerais de alteração ocorrem anfibólio verde, carbonatos e iddingsita.

Diante da presença de texturas relacionadas ao reequilíbrio textural pós-magmático (e.g., textura granoblástica) comuns aos principais minerais dessas rochas, notadamente plagioclásio, clinopiroxênio e kaersutita, entende-se que a classificação mais precisa para essas rochas é “kaersutita metadiabásio com olivina”.

A predominância de plagioclásio e clinopiroxênio com lamelas de óxido de titânio, além da alta porcentagem de kaersutita e a presença de olivina, reflete a cristalização de uma rocha com nítida filiação alcalina. A kaersutita se mostra euédrica e sobrecrecida à augita na fase pós-magmática. Apatitas aciculares são intersticiais. Iddingsita e carbonatos são típicos produtos de alteração hidrotermal posterior.

Pegmatitos e aplitos

Pegmatitos e aplitos de composição sienítica, por vezes com quartzo intersticial, foram encontrados na forma de diques e veios, respectivamente, cortando as demais rochas da área investigada. Ambas as litologias têm estrutura maciça e são hololeucocráticas. Os pegmatitos exibem textura pegmatítica típica e contêm cristais maiores de feldspato alcalino como mineral predominante, ao lado de biotita e clinopiroxênio subordinados. Os aplitos apresentam textura fanerítica inequigranular fina a muito fina, com aspecto sacaroidal. No setor 2 da brecha magmática (Figuras 1 e 4), aplitos e pegmatitos parecem ter contatos transicionais e gradativos em relação ao álcali feldspato sienito predominante na matriz, com as variedades pegmatíticas parecendo estar mais concentradas nas proximidades dos contatos com os megafragmentos de rochas gabroicas.

GEOQUÍMICA

A seguir, são feitas considerações sobre as amostras analisadas por geoquímica de rocha-total para algumas rochas da região da Praia do Jabaquara. Os gabros heterogêneos e

os pegmatitos não foram analisados devido ao pronunciado grau de alteração hidrotermal e/ou intempérica.

- **Álcali feldspato sienitos:** essa variedade classifica-se como traquito no diagrama TAS (Le Maitre, 2002) da Figura 9. O seu teor em sílica varia entre 60 e 65% e o de álcalis, entre 12 e 14% (em massa). Apenas algumas amostras coincidem com os dados extraídos da literatura para as rochas sieníticas das Ilhas Monte de Trigo (Enrich et al., 2005) e de Búzios (Gomes et al., 2017), com a maior parte delas tendo composição intermediária. Na mineralogia normativa CIPW, destacam-se os constituintes albíta (~50%), ortoclásio (~38%), diopsídio (~3%) e nefelina (~2%). O mg# [(MgO)/(MgO+FeO_t), em proporções moleculares] varia entre 0,14 e 0,33 (Tabela 1);
- **Melassienitos:** no diagrama da Figura 9, essa unidade classifica-se como traquiandesito. O seu teor em sílica é ~56% e o teor de álcalis é próximo de 10% (em massa). Não há indicações de rochas intrusivas com composição similar nas ocorrências vizinhas. Dados normativos têm como minerais mais abundantes albíta (~45%), ortoclásio (~23%) e anortita (~12%), seguidos de 3,7% de nefelina. O mg# é igual a 0,37 (Tabela 1);
- **Aplitos:** no diagrama citado, os aplitos classificam-se como traquito e têm teor de sílica de ~67% (em massa), o mais elevado entre todas as amostras analisadas. O conteúdo em álcalis é semelhante ao dos álcali feldspato sienitos (~13%, em massa). Os dados químicos coincidem com alguns obtidos por Alves (1997) para rochas sieníticas da Ilha de Búzios. A mineralogia normativa é constituída por albíta (~51%), ortoclásio (~36%) além de quartzo (~5%). O mg# é extremamente baixo, situando-se entre 0,05 e 0,08 (Tabela 1);
- **Diabásios:** das amostras analisadas, uma classifica-se como basanita e a outra como traquibasalto no diagrama da Figura 9. O teor de sílica é de 46% (em massa) e o de álcalis, compreendido entre 5 e 6% (em massa). Essas rochas plotam junto às ocorrências de gabros cumuláticos de Ponta das Canas investigados por Lima (2001). Têm como minerais normativos albíta e anortita, representando de 43 a 46% da amostra, e em menor quantidade diopsídio (~18%), ortoclásio (~13%), olivina (~6%) e nefelina (~4%). O mg# para as duas amostras é igual a 0,42 (Tabela 1);
- **Gabros cumuláticos:** Essa unidade é classificada na Figura 9 como basalto e picro-basalto, com a terceira alocando-se no campo do foidito. O seu teor de sílica é variável, de ~38 a ~46%, o mesmo ocorrendo com o de álcalis, ~2 a ~4% (em massa). Essas análises são coincidentes com as composições de gabros encontrados na Ilha Monte de Trigo por Enrich et al. (2005) e de gabros cumuláticos da Praia da Armação (Lima, 2001). Dados normativos incluem diopsídio (22 a 38%), anortita (22 a 28%), olivina (8 a 12%) além de nefelina (4 a

10%). O valor do mg# é o mais alto entre as rochas do estudo (0,5 a 0,6; Tabela 1).

No diagrama de elementos terras-raras (ETR) normalizados em relação ao condrito (Sun e McDonough, 1989; Tabela 2, Figura 10), as amostras de álcali feldspato sienito apresentam enriquecimento de até 300 vezes para os ETR leves em relação a esse reservatório e tendência retilínea, com enriquecimento em ETR leves em relação aos ETR pesados. Além disso, exibem pronunciada anomalia negativa de Eu. Excluída essa anomalia, que é positiva nos sienitos da Ilha de Búzios (Gomes et al., 2017), nota-se que os dados se superpõem para as rochas sieníticas de ambas as ocorrências (Figura 10). As amostras de diabásios mostram o maior enriquecimento, até 350 e 400 vezes para ETR leves, em relação ao condrito, enriquecimento em ETR leves comparativamente aos pesados, além de comportamento retilíneo. O melassienito apresenta enriquecimento intermediário entre as amostras de diabásio e, de forma similar às demais rochas, caracteriza-se pelo aumento dos ETR leves em comparação aos pesados e distribuição retilínea. A amostra exibe também uma discreta anomalia positiva em Eu. O comportamento dos ETR nos gabros cumuláticos não difere muito das demais rochas associadas, mostrando-se, contudo, menos enriquecido, em até 100 vezes para ETR leves, em relação ao condrito.

DISCUSSÃO

A distribuição das rochas alcalinas plutônicas nas ilhas costeiras do litoral norte do Estado de São Paulo, que integram o setor norte da Província Alcalina Serra do Mar, mostra característica bimodal, com evidente predomínio volumétrico das rochas sieníticas sobre as máficas/ultramáficas. As rochas sieníticas estão presentes nas Ilhas de Vitória (Motoki e Gomes, 1984), Búzios (Alves e Gomes, 2001; Gomes et al., 2017), Monte de Trigo (Enrich et al., 2009) e São Sebastião (Freitas, 1947; Hennies e Hasui, 1977; Bellieni et al., 1990; Enrich et al., 2005; Augusto, 2003; Pabst, 2014), e particularmente na última ocorrem três *stocks* sieníticos: Serraria, Mirante e São Sebastião. As rochas gabroicas e piroxeníticas cumuláticas ocorrem associadas aos corpos sieníticos de Monte de Trigo (Enrich et al., 2009), São Sebastião (Augusto, 2003; Pabst, 2014; Giraldo-Arroyave e Vlach, 2016) e Serraria (Freitas, 1947; Hennies e Hasui, 1977; Lima e Schorscher, 1999; Lima, 2001). Nas proximidades da praia do Jabaquara, essa distribuição alcalina bimodal é representada pelos álcali feldspato sienitos, pertencentes ao maciço de Serraria, e pelas rochas gabroicas, que devem estar associadas com o corpo de maior expressão mapeado na Ponta das Canas por Freitas (1947) e detalhado por Lima (2001).

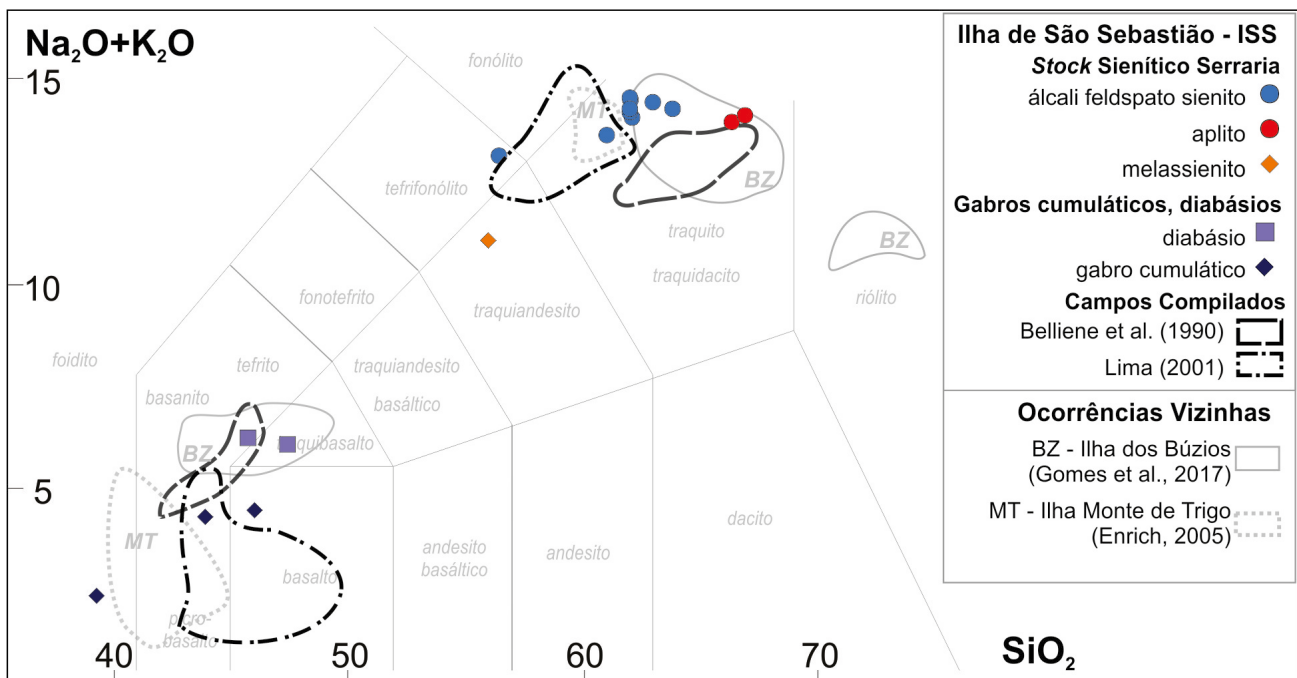


Figura 9. Diagrama TAS (Total de Álcalis vs. Sílica, em % em massa — recalculados para base anidra) (cf. Le Maitre et al., 2002) para rochas da região da praia do Jabaquara. Para comparação, são também plotados os campos da suíte da Ilha de São Sebastião obtidos em trabalhos anteriores (Bellieni et al., 1990; Lima, 2001). Campos de ocorrências alcalinas das adjacências também mostrados (Enrich et al., 2005; Gomes et al., 2017).

Tabela 1. Composições de elementos maiores, menores e alguns traços determinadas por fluorescência de raios X (FRX) para as amostras da praia do Jabaquara, suite alcalina da ilha de São Sebastião. Mineralogia normativa também apresentada, por meio de cálculo em base anidra.

Amostra ISS	001A02	001A03	001B01	001B02	002A01	004B01	004H01	004F01
Clas. Petrog.	AFSI	AFSI	APL	APL	AFSI	D	D	GC
SiO ₂ (% massa)	61,77	61,97	65,38	65,57	60,13	46,62	44,93	45,54
TiO ₂	0,80	0,81	0,41	0,36	0,91	2,45	2,87	2,53
Al ₂ O ₃	17,95	17,90	16,26	16,15	17,48	16,17	16,07	16,35
Fe ₂ O ₃	4,01	4,09	3,24	2,86	4,78	12,65	12,73	12,59
MnO	0,16	0,16	0,18	0,15	0,23	0,26	0,24	0,17
MgO	0,56	0,53	0,15	0,07	0,67	4,58	4,71	6,42
CaO	1,53	1,63	0,72	0,63	1,99	10,13	10,54	11,58
Na ₂ O	6,41	6,39	6,43	6,39	5,96	3,32	3,54	3,27
K ₂ O	6,36	6,35	5,98	6,04	6,02	2,12	2,05	0,80
P ₂ O ₅	0,23	0,23	0,03	0,03	0,33	0,83	1,41	0,37
P.F.	0,30	0,16	0,42	0,44	0,55	0,16	0,76	0,32
Total	100,08	100,22	99,20	98,69	99,05	99,30	99,85	99,94
mg#	0,22	0,20	0,08	0,05	0,22	0,42	0,42	0,50
Elementos-traço								
Ba (ppm)	1.915	1.852	410	899	1.840	1.149	1.635	422
Ce	98	93	557	607	121	143	176	53
Co	< 6	< 6	< 6	< 6	< 6	35	31	38
Cr	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	88
Cu	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	56	106	66
Ga	18	19	28	26	22	20	19	20
La	58	59	419	496	75	69	86	< 28
Nb	58	59	244	238	74	50	54	26
Nd	36	33	188	245	47	62	78	30
Ni	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	55	10	86
Pb	6	4	9	10	12	< 4	< 4	< 4
Rb	87	86	184	184	82	33	48	8
Sc	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	25	20	36
Sr	433	421	69	82	195	902	1.499	647
Th	< 7	< 7	89	92	8	< 7	< 7	< 7
U	< 3	< 3	10	11	< 3	< 3	< 3	< 3
V	< 9	< 9	< 9	< 9	13	271	268	320
Y	21	22	144	176	30	34	38	27
Zn	82	83	100	92	101	102	124	95
Zr	144	161	973	1.041	304	205	225	136
Cl	934	744	485	507	869	844	1.629	284
F	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
S	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	< 550	3.165	< 550
NORMA CIPW								
Quartzo			4,7	5,2				
Ortoclásio	37,7	37,6	35,8	36,4	36,2	12,7	12,3	4,8
Albita	49,4	49,7	51,0	50,4	49,3	23,2	20,7	20,3
Anortita	1,4	1,4			3,2	23,3	22,3	27,9
Nefelina	2,7	2,4			1,1	2,9	5,3	4,2
Diopsídio	3,0	2,9	2,9	2,6	3,6	18,0	17,4	22,4
Olivina					0,0	6,0	6,0	8,3
Magnetita	2,8	2,8	1,1	0,5	3,9	7,2	7,2	6,5
Ilmenita	1,5	1,5	0,8	0,7	1,8	4,7	5,6	4,9
Apatita	0,5	0,5	0,1	0,1	0,8	2,0	3,3	0,9
Acmita			3,6	4,2				

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Amostra ISS	004G02	005C04	004C01	004C03	004J01	005B01	007C01	007E01	007H01
Clas. Petrog.	GC	GC	AFSI	AFSI	AFSI	AFSI	MLS	AFSI	AFSI
SiO ₂ (% massa)	37,95	43,25	61,83	61,71	62,86	55,40	54,94	60,67	61,68
TiO ₂	3,77	2,07	0,65	0,67	0,49	1,41	1,75	0,84	0,94
Al ₂ O ₃	12,34	13,31	17,16	17,27	17,33	18,62	18,09	16,59	17,12
Fe ₂ O ₃	18,78	11,96	3,56	3,61	3,26	5,67	6,65	4,79	4,93
MnO	0,20	0,20	0,13	0,11	0,09	0,19	0,17	0,20	0,19
MgO	7,77	8,77	0,53	0,48	0,38	1,40	1,96	0,38	0,40
CaO	14,71	14,64	1,41	1,52	1,43	3,66	4,55	1,48	1,25
Na ₂ O	1,44	2,32	6,33	6,37	6,70	5,97	6,04	6,26	6,20
K ₂ O	0,74	1,54	6,26	6,33	5,96	5,67	3,73	6,34	6,73
P ₂ O ₅	0,26	0,81	0,13	0,11	0,10	0,49	0,62	0,18	0,18
P.F.	0,93	0,51	1,03	1,28	1,26	0,58	0,60	1,15	0,80
Total	98,89	99,38	99,01	99,46	99,86	99,06	99,10	98,88	100,42
mg#	0,45	0,59	0,23	0,21	0,19	0,33	0,37	0,14	0,14
Elementos-traço									
Ba (ppm)	248	513	536	562	451	1.424	2.343	73	114
Ce	56	98	101	103	80	149	152	112	110
Co	77	47	< 6	< 6	< 6	< 6	10	< 6	< 6
Cr	< 13	130	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13	< 13
Cu	47	90	8	14	22	< 5	10	< 5	< 5
Ga	22	18	22	22	23	21	20	23	24
La	29	57	53	53	46	96	83	54	59
Nb	26	50	70	61	67	139	91	54	70
Nd	40	48	39	38	30	51	60	41	43
Ni	39	130	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Pb	< 4	< 4	7	10	12	< 4	< 4	7	8
Rb	10	31	99	93	94	140	64	104	136
Sc	41	40	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14	< 14
Sr	644	942	127	130	131	918	1.273	38	64
Th	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7	< 7
U	< 3	< 3	< 3	3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
V	619	287	24	23	13	52	83	< 9	< 9
Y	25	27	28	25	20	31	31	26	27
Zn	108	80	44	38	43	89	104	98	120
Zr	171	227	889	1.122	202	464	209	174	132
Cl	157	855	351	483	485	1.679	1.721	467	949
F	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500	856	< 500	< 500	< 500
S	3.366	< 550	3.408	5.926	4.917	< 550	550	< 550	< 550
NORMA CIPW									
<i>Quartzo</i>									
<i>Ortoclásio</i>		9,3	37,8	38,2	35,8	34,1	22,5	38,4	40,0
<i>Albita</i>		1,5	52,3	50,9	55,2	34,3	45,1	48,0	47,8
<i>Anortita</i>	25,9	21,8				7,4	11,4		
<i>Nefelina</i>	6,8	10,0	1,3	2,0	0,9	9,3	3,8	1,8	1,7
<i>Diopsídio</i>	34,8	37,6	2,9	2,6	2,1	6,1	5,8	3,0	2,2
<i>Olivina</i>	11,5	8,0				0,5	1,6		
<i>Magnetita</i>	7,8	6,0	2,6	2,5	2,6	3,9	4,9	3,0	3,4
<i>Ilmenita</i>	7,4	4,0	1,3	1,3	0,9	2,7	3,4	1,6	1,8
<i>Apatita</i>	0,6	1,9	0,3	0,3	0,2	1,1	1,5	0,4	0,4
<i>Acmita</i>			0,1	0,3	0,7			2,7	1,7

ISS: Ilha de São Sebastião; Clas. Petrog.: classificação petrográfica; D: diabásio; AFSI: álcali feldspato sienito; GC: gabro cumulático; MLS: melassienito.

Os álcali feldspato sienitos do Jabaquara, matriz do agmatito, têm algumas similaridades com as demais rochas sieníticas de outros corpos alcalinos. Sua textura é inequigranular seriada, variando de fina a grossa, e localmente apresentam-se traquitoide, como indicado principalmente pelos cristais subédricos de feldspato alcalino e euédricos de diop-sídio-hedenbergita. Quimicamente, essa unidade tem caráter alcalino bem marcado pelo alto teor em álcalis e pela presença de nefelina normativa. Seu baixo mg# e o alto índice de diferenciação (I.D. = ne + ab + or + qz, normativos) são indicativos de sua característica magmática mais evoluída.

Os gabros cumuláticos, assim como os álcali feldspato sienitos, mostram também similaridades com as demais ocorrências da província. Apresentam estrutura maciça ou bandada e textura cumulática, que inclui vários tipos de rochas (anortosito, gabro, melagabro e clinopiroxenito com olivina) com predominância de melagabros, sendo que todos

eles ocorrem como mega-, macro- e microfragmentos líticos no agmatito. Nefelina, olivina e leucita normativa conferem forte tendência alcalina a essas rochas.

Na Figura 9, nota-se o caráter bimodal do magmatismo com gabros cumuláticos em um extremo e os álcali feldspato sienitos em outro. Embora haja um *gap* composicional entre SiO₂ ~48 e ~55% (em massa) no diagrama, é possível corroborar a interpretação de que, na região, magmas sieníticos foram formados a partir da cristalização fracionada de um magma progenitor de composição basanítica (Brotzu et al., 2005; Enrich et al., 2005; Gomes et al., 2017). Baseado em observações de campo e nos dados reunidos neste trabalho, em que os fragmentos cumuláticos poderiam ter sido transportados por diferentes pulsos finais sieníticos, é plausível supor que, em ambientes de câmara profunda, um líquido básico de tendência alcalina possa gerar, por fracionamento, rochas sieníticas.

Tabela 2. Composições de elementos-traço determinadas por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) para as amostras da praia do Jabaquara, suíte alcalina da ilha de São Sebastião.

Amostras ISS-	004B01	004C01	004F01	004G02	004H01	007C01	007E01
Clas. Petrog.	D	AFSI	GC	GC	D	MLS	AFSI
Rb	36,8	106	9,81	13,6	50,4	64,8	102
Sr	908	136	670	652	1476	1300	35,3
Y	33,8	27,6	25,8	22,0	36,6	31,0	24,7
Zr	116	113	132	170	209	182	101
Nb	52,6	76,5	26,3	24,1	55,7	97,6	56,8
Cs	0,34	0,76	0,32	0,24	0,73	0,57	0,83
Ba	1113	551	392	234	1493	2288	62,6
La	76,2	62,0	26,3	21,9	93,8	85,8	63,4
Ce	143	122	55,9	55,4	193	166	130
Pr	15,8	14,3	7,60	8,15	22,5	18,3	15,8
Nd	62,4	56,3	32,0	35,9	90,6	71,3	64,3
Sm	10,8	9,59	6,73	7,45	14,4	11,0	10,4
Eu	3,16	1,41	2,38	2,34	4,27	3,76	1,90
Gd	9,59	7,93	6,95	7,04	11,7	8,94	8,12
Tb	1,36	1,12	0,98	0,94	1,49	1,15	1,09
Dy	6,62	5,56	4,97	4,60	7,72	5,88	5,50
Ho	1,28	1,04	0,98	0,83	1,40	1,15	1,03
Er	3,12	2,57	2,37	1,93	3,26	2,73	2,32
Tm	0,45	0,36	0,33	0,26	0,43	0,38	0,31
Yb	2,71	2,20	2,05	1,47	2,50	2,35	1,97
Lu	0,42	0,34	0,30	0,22	0,37	0,34	0,30
Hf	2,87	2,52	3,07	4,56	5,01	4,65	2,69
Pb	6,83	11,0	3,37	2,29	4,25	9,93	8,21
Th	6,98	6,17	1,10	2,27	6,90	3,51	4,91
U	1,16	1,38	0,38	0,60	1,86	0,81	0,87

ISS: Ilha de São Sebastião; Clas. Petrog.: classificação petrográfica; D: diabásio; AFSI: álcali feldspato sienito; GC: gabro cumulático; MLS: melassienito.

Contudo, a região do contato entre rochas sieníticas e gábricas na praia do Jabaquara é marcada por diversas feições de desequilíbrio, que sugerem, adicionalmente, um processo de interação entre magmas máficos e félsicos. Os principais produtos relacionados aos diferentes estágios dessa interação levariam à formação dos melassienitos e às transformações texturais e mineralógicas das rochas máficas, possivelmente por ação termal e metassomática associadas aos pulsos sieníticos.

Os melassienitos correspondem a uma rocha composta principalmente por feldspato alcalino, clinopiroxênio da série diopsídio-hedenbergita, e plagioclásio. A textura é inequigranular fina a média e, usualmente, as amostras contêm megacristais de plagioclásio, enclaves subarredondados formados por plagioclásio granular e, mais raramente, enclaves formados por feldspato alcalino em meio ao plagioclásio. Esses enclaves e megacristais devem representar microxenólitos e xenocristais, respectivamente. A textura granular/granoblástica interna aos xenólitos representa possivelmente um processo de recristalização que foi causado pelo aumento de temperatura no momento da intrusão dos álcali feldspato sienitos. Quimicamente, essa rocha é classificada como trauquandesito, porém não representativa de um líquido pristino. Os teores dos álcalis e de sílica, em uma posição intermediária entre os álcali feldspato sienitos e os diabásios, bem como as heterogeneidades e feições de desequilíbrio

encontradas, indicam a sua natureza híbrida, relativa a uma interação em profundidade de magmas básicos e evoluídos.

Os diabásios são maciços, inequigranulares a porfíricos (granulação fina a média) e, mineralogicamente, compostos de plagioclásio labradorítico, clinopiroxênio, e abundância de kaersutita, com textura granoblástica predominante na rocha. Essas características permitem assumir que os fragmentos de diabásios também passaram por transformações texturais por ação térmica, embora localmente ainda se reconheça alguma textura ígnea. Por vezes, reconhecem-se variedades porfíricas com macrocristais euédricos ou anédricos de clinopiroxênio com bordas de sobrecrecimento, evidenciando um possível desequilíbrio químico entre os cristais formados precocemente e o magma. As presenças de kaersutita, em concentração significativa, e de olivina na moda, além de nefelina e olivina na norma, permitem afirmar que essa unidade também é de filiação alcalina.

A sequência dos eventos magmáticos interpretada a partir das evidências de campo e dados laboratoriais é:

- colocação e cristalização de pulsos de magmas básicos alcalinos, em ambiente de câmara, gerando as variedades gabroicas cumuláticas encontradas, principalmente melagabros e clinopiroxenitos com olivina, e mesmo brechas de matriz gabroica, classificadas como gabros heterogêneos;

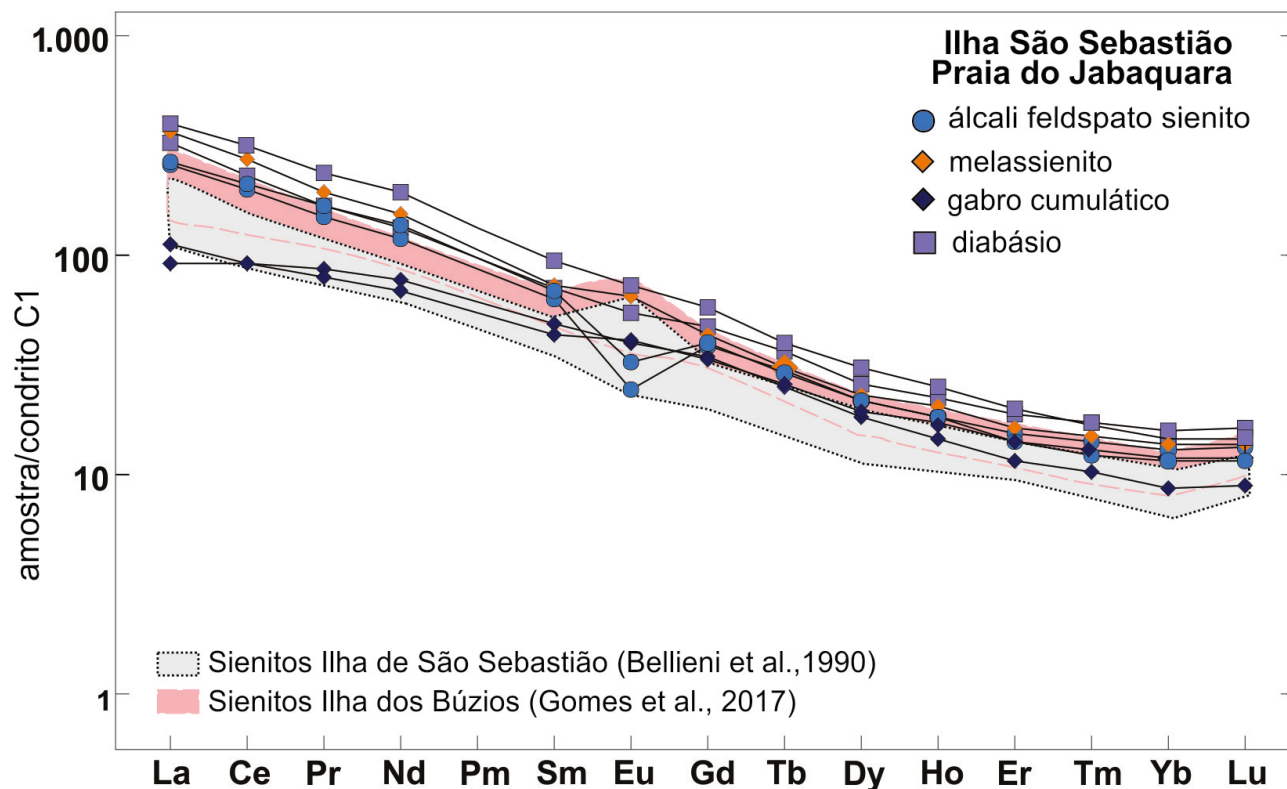


Figura 10. Padrão de distribuição de elementos terras-raras, normalizadas segundo o condrito de Sun e McDonough (1989) para rochas da região da praia do Jabaquara.

- intrusão de novos pulsos de magma básico alcalino, cristalizando-se como possíveis diques de granulação fina a média, e representados pelos fragmentos de diabásios;
- intrusão de pulso sienítico na câmara que fragmentou o gabro já parcialmente (*mush*) ou totalmente cristalizado, carregando ampla proporção de xenocristais, microxenólitos e de alguns xenólitos maiores, gerando os melassienitos híbridos;
- nova intrusão de pulso álcali feldspato sienítico, posterior à cristalização do melassienito, que fragmenta todo o sistema, formando um agmatito com megaxenólitos e microxenólitos de gabros cumuláticos, diabásios, agmatitos de matriz gabraica (gabros heterogêneos) e melassienitos. A alta temperatura desse magma sienítico no momento de sua colocação pode ter ocasionado o reequilíbrio estático do plagioclásio observado como textura granular em amostras de gabros heterogêneos e diabásios. Sugestivamente, as elevadas concentrações de kaersutita em diabásios e nos megaxenólitos dos gabros cumuláticos poderiam estar também associadas a reações de fluidos mais ricos em voláteis derivados dos magmas sieníticos (ou mesmo desse próprio magma) com os tipos pouco hidratados previamente formados. Todos os tipos amostrados como xenólitos apresentam algum grau de recristalização e de reação/difusão química com o magma sienítico final que os hospeda. Todo o carácter altamente fraturado e o formato anguloso dos fragmentos sugerem que um teor de voláteis relativamente alto no magma sienítico tenha sido fundamental para o desenvolvimento do processo de brechação em ambiente de câmara.
- Por último, todo o sistema foi cortado por líquidos finais supersaturados em sílica, formando veios e diques de pegmatito e aplito de composição sienítica com quartzo.

CONCLUSÕES

A Ilha de São Sebastião, localizada no litoral norte do Estado de São Paulo, apresenta rochas alcalinas com assinaturas magmáticas primitivas e rochas com carácter mais evoluído. A existência conjunta dessas rochas já é de conhecimento da literatura há décadas, mas o que este trabalho apresenta são as relações de contato entre essas rochas, além de indicar a interação entre os magmas associados de composições muito contrastantes. Tais relações de contato, que ainda não tenham sido registradas nessa ilha, têm como local de ação a porção norte do *stock* de Serraria, mais precisamente a região da Praia do Jabaquara.

Trabalhos de campo permitiram encontrar, descrever e caracterizar rochas alcalinas sieníticas e gábricas de ocorrência conjunta e estabelecer qualitativamente as relações temporais entre esses dois tipos petrográficos. Entre as feições mais marcantes, destaca-se a presença de mega- e microxenólitos de rochas máficas em um hospedeiro sienítico. Análise

petrográfica permitiu melhor classificar as rochas presentes na área em cinco unidades principais: álcali feldspato sienitos a álcali feldspato sienitos traquitoide como principal matriz do agmatito; gabros cumuláticos, diabásios, gabros heterogêneos e uma unidade híbrida, os melassienitos, todos esses como fragmentos líticos na brecha (agmatito).

Análises geoquímicas de rocha total evidenciaram a presença de magmatismo alcalino bimodal separando os gabros cumuláticos e diabásios, com assinaturas menos diferenciadas, dos álcali feldspato sienitos, aplitos e fonolitos, com características magmáticas mais diferenciadas. A variedade híbrida (melassienitos) mostra geoquimicamente comportamento intermediário entre as variedades máficas e félsicas.

Por fim, a sequência de eventos magmáticos sugeridos para a região da Praia de Jabaquara, setor norte da Ilha de São Sebastião, caracteriza-se pela existência de sucessivos pulsos de magma básico alcalino, que se cristalizou em ambiente de câmara rasa, intrudido por sucessivos pulsos de magma sienítico, gerando feições de desequilíbrio, recristalização e agmatitos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo — FAPESP (Processos 2012/0602-6 e 2017/03768-8). Os autores agradecem também aos colegas Pedro Augusto da Silva Rosa e Emanuel Amorer Hernández no auxílio em uma das etapas de campo. Também de relevante importância foram os comentários e as sugestões oferecidos pelos relatores desta revista.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M. (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da Plataforma Sul-Americana. *Revista Brasileira de Geociências*, 13(3), 139-158.
- Alves, F. R. (1997). *Contribuição ao conhecimento geológico e petrológico das rochas alcalinas da Ilha dos Búzios, SP*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP, 274 p. <https://doi.org/10.11606/T.44.1997.tde-18092015-174733>
- Alves, F. R., Gomes, C. B. (2001). Ilha dos Búzios, Litoral Norte do Estado de São Paulo: aspectos geológicos e petrográficos. *Geologia USP. Série Científica*, 1, 101-114. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2001000100007>
- Augusto, T. (2003). *Petrografia e quimismo mineral de rochas gábricas e sieníticas do maciço de São Sebastião, SP*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

- Azzone, R. G., Munoz, P. M., Enrich, G. E. R., Alves, A., Ruberti, E., Gomes, C. B. (2016). Petrographic, geochemical and isotopic evidence of crustal assimilation processes in the Ponte Nova alkaline mafic–ultramafic massif, SE Brazil. *Lithos*, 260, 58-75. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.05.004>
- Azzone, R. G., Ruberti, E., Silva, J. C. L., Gomes, C. B., Enrich, G. E. R., Hollanda, M. H. B. M., Tassinari, C. C. G. (2018). Upper Cretaceous weakly to strongly silica-undersaturated alkaline dike series of the Mantiqueira Range, Serra do Mar alkaline province: Crustal assimilation processes and mantle source signatures. *Brazilian Journal of Geology*, 48(2), 373-390. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201820170089>
- Beccaluva, L., Barbieri, M., Born, H., Brotzu, P., Coltorti, I. M., Conte, A., Garbarino, C., Gomes, C. B., Acciotta, G., Morbidelli, L., Ruberti, E., Siena, F., Traversa, G. (1992). Fractional crystallization and liquid immiscibility processes in the alkaline-carbonatite complex of Juquiá, São Paulo, Brazil. *Journal of Petrology*, 33(6), 1371-1404. <https://doi.org/10.1093/petrology/33.6.1371>
- Bellieni, G., Montes-Lauar, C. R., De Min, A., Piccirillo, E. M., Cavazzini, G., Melgi A. J., Pacca, I. G., (1990). Early and Late Cretaceous Magmatism from São Sebastião Island (SE-Brazil): Geochemistry and Petrology. *Geochimica Brasiliensis*, 4(1), 59-83.
- Brotzu, P., Gomes, C. B., Melluso, L., Morbidelli, L., Morra V., Ruberti, E. (1997). Petrogenesis of coexisting SiO₂-undersaturated to SiO₂-oversaturated felsic igneous rocks: the alkaline complex of Itatiaia, southeastern Brazil. *Lithos*, 40(2-4), 133-156. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(97\)00007-8](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(97)00007-8)
- Brotzu, P., Melluso, L., Bennio, L., Gomes, C. B., Lustrino, M., Morbidelli, L., Morra, V., Ruberti, E., Tassinari, C. C. G., D'Antonio, M. (2007). Petrogenesis of the Early Cenozoic potassic alkaline complex of Morro de São João, southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 24(1), 93-115. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2007.02.006>
- Brotzu, P., Melluso, L., D'Amelio, F., Lustrino, M. (2005). Potassic dykes and intrusions of the Serra do Mar Igneous Province (SE Brazil). In: P. Comin-Chiaramonti, C. B. Gomes (Eds.), *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo, Edusp/Fapesp. p. 443-472.
- Enrich, G. E. R., Azzone R. G., Ruberti, E., Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti, P. (2005). Itatiaia Passa Quatro and São Sebastião Island. The major alkaline syenitic complexes from the Serra do Mar region. In: P. Comin-Chiaramonti, C. B. Gomes (Eds.), *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo, Edusp/Fapesp. p. 419-442.
- Enrich, G. E. R., Ruberti, E., Gomes, C. B. (2009). Geology and geochronology of Monte de Trigo island alkaline suite, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 39(1), 67-80. <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.20093916780>
- Freitas, R. O. (1947). Geologia e petrologia da Ilha de São Sebastião. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras – USP: Geologia*, 85(3), 1-244. <http://dx.doi.org/10.11606/ssn.2526-3862.bffcluspgeologia.1947.121770>
- Garda, G. M., Schorscher, J. H. D., Esperança, S., Carlson, R. W. (1995). The petrology and geochemistry of coastal dykes from São Paulo State Brazil: implications for variable lithospheric contributions to alkaline magmas from the western margins of the South Atlantic. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67(Supl. 2), 191-216.
- Giraldo-Arroyave, M. I., Vlach, S. R. F. (2016). Layered alkaline mafic-ultramafic rocks from the São Sebastião Island, SP: preliminary data. *XLVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, v. único. ID 7352. Porto Alegre: SBG.
- Gomes, C. B., Alves, F. R., Azzone, R. G., Enrich, G. E. R., Ruberti, E. (2017). Geochemistry and petrology of the Búzios Island alkaline massif, SE, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 47(1), 127-145. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201720160121>
- Gomes, C. B., Comin-Chiaramonti, P. (2017). *Magmatismo alcalino continental da região meridional da Plataforma Brasileira*. São Paulo: Edusp/Fapesp.
- Hennies, W. T., Hasui, Y. (1977). Contribuição ao reconhecimento da geologia da Ilha de São Sebastião. *I Simpósio de Geologia Regional*, 199-209. São Paulo: SBG.
- Jerram, D., Petford, N. (2014). *Descrição de Rochas Ígneas – Guia geológico de campo*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 265 p.
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M. J., Bonin, B., Bateman, P. (2002). *Igneous rocks. A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, 236 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>
- Lima, G. A. (2001). *Gabros estratiformes da região norte da Ilha de São Sebastião, SP*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP. <https://doi.org/10.11606/D.44.2001.tde-25092015-160340>
- Lima, G. A., Schorscher, J. H. D. (1999). Complexo gábrico estratiforme da Ponta da Pacuíba Ilha de São Sebastião. *VI Simpósio de Geologia do Sudeste*, 65. São Pedro: SBG/UNESP.

- Morbidelli, L., Gomes, C. B., Beccaluva, L., Brotzu, P., Conte, A. M., Ruberti, E., Traversa, G. (1995). Mineralogical, petrological and geochemical aspects of alkaline and alkaline-carbonatite associations from Brazil. *Earth Science Review*, 39(3-4), 135-168. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00031-3](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00031-3)
- Motoki A., Gomes C. B. (1984). Caracterização geológica e petrográfica do maciço alcalino da Ilha de Vitória, SP. *XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 9, 4392-4399. Rio de Janeiro: SBG.
- Pabst, L. (2014). *Gabros estratiformes e sienitos supersaturados da Ilha de São Sebastião, SP: Relações geológicas e petrografia na região da Ponta da Sepituba*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.
- Passarelli, C. R., Basei, M. A. S., Siga Jr., O., Sato, K., Sproesser, W. M., Loios, V. A. P. (2009). Dating minerals by ID-TIMS geochronology at times of in situ analysis: Selected case studies from the CPGeo-IGc-USP laboratory. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 81(1), 73-97. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652009000100010>
- Perrota, M. M., Salvador, E. D., Lopes, R. C., D'Agostinho, L. Z., Peruffo, N., Gomes, S. D., Sachs, L. L. B., Meira, V. T., Garcia, M. G. M., Lacerda Filho, J. V. (2005). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000*. Programa Geologia do Brasil – PGB. São Paulo: CPRM.
- Potts, P. J. (1992). *A Handbook of Silicate Rock Analysis*. Nova York: Springer Science+Business Media. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-3270-5>
- Ricardi, B. P., Vlach, S. R. F. (2007). Evolução química e textural de piroxênios em enclaves mafico-ultramáficos e nefelina sienitos hospedeiros, Pedreira da Prefeitura, Maciço Alcalino Poços de Caldas (MG-SP). *XI Congresso Brasileiro de Geoquímica*. Atibaia: SBGq.
- Riccomini, C., Velásquez, F. V., Gomes, C. B. (2005). Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in the central-southeastern Brazilian Platform. In: P. Comin-Chiaramonti, C. B. Gomes (Eds.), *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: Edusp/Fapesp. p. 31-56.
- Rosa, P. A. S., Ruberti, E. (2018). Nepheline syenites to syenites and granitic rocks of the Itatiaia Alkaline Massif, Southeastern Brazil: new geological insights into a migratory ring complex. *Brazilian Journal of Geology*, 48(2), 347-372. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-4889201820170092>
- Ruberti, E., Enrich, G. E. R., Azzone, R. G., Comin-Chiaramonti, P., De Min, A., Gomes, C. B. (2012). The Banhadão alkaline complex, southeastern Brazil: source and evolution of potassic SiO₂-undersaturated high-Ca and low-Ca magmatic series. *Mineralogy and Petrology*, 104(1-2), 63-80. <https://doi.org/10.1007/s00710-011-0171-9>
- Sato, E. N., Vlach, S. R. F., Basei, M. A. S. (2008). Zircon and baddeleyite U-Pb dating (TIMS) of Mesozoic alkaline rocks from the São Sebastião Island, southeastern Brazil. In: *33rd International Geological Congress*. Oslo.
- Sonoki, I. K., Garda, G. M. (1988). Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil Meridional e Paraguai Oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. *Boletim IG-USP, Série Científica*, 19, 63-85. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-8986.v19i0p63-85>
- Sun, S. S., McDonough, W. S. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1), 313-345. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Thompson, R. N., Gibson, S. A., Mitchell, J. G., Dickin, A. P., Leonardos, O. H., Brod, J. A., Greenwood, J. C. (1998). Migrating Cretaceous-Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume. *Journal of Petrology*, 39(8), 1493-1526. <https://doi.org/10.1093/петroj/39.8.1493>
- Ulbrich, H. H. G. J. (1986). As brechas de origem ígnea: revisão e proposta para uma classificação geológica. *Boletim IG-USP, Publicação Especial*, (3). <https://doi.org/10.11606/issn.2317-8078.v0i3p01-82>
- Ulbrich, H. H. G. J., Gomes, C. B. (1981). Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 135-154. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90009-X)
- Ulbrich, H. H. G. J., Vlach, S. R. F., DemaiFFE, D., Ulbrich, M. N. C. (2005). Structure and origin of the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE Brazil. In: P. Comin-Chiaramonti, C. B. Gomes (Eds.), *Mesozoic to Cenozoic Alkaline Magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo: Edusp/Fapesp. p. 367-418.