

Ocorrência de rochas vulcânicas ignimbríticas na porção norte da Bacia do Espírito Santo: evolução do modelo tectono-sedimentar

Occurrence of ignimbrite volcanics in the northern Espírito Santo Basin, Brazil: an advance in the model of tectonic-sedimentary evolution of the basin

Luís Carlos Chaves Novais¹, Tibor Zelenka², Peter Szatmari³, Akihisa Motoki⁴,

José Ribeiro Aires⁵, Claudio Vinicius Tagliari⁶

resumo

A proposição do presente trabalho é relatar a existência de rochas vulcanoclásticas ignimbríticas na porção terrestre norte da Bacia do Espírito Santo e avaliar seu significado na evolução tectono-sedimentar da bacia. A pesquisa de campo revelou a ocorrência de ignimbritos e rochas piroclásticas de composição riolítica a dacítica em uma zona transcorrente de direções NNW-SSE a NW-SE, denominada aqui como Alinhamento São Mateus ou Arco de São Mateus. Os piroclásticos ignimbríticos, examinados em afloramentos, estendem-se ao longo do Rio São Mateus por mais de 10km e com mais de 50m de espessura. As seqüências sedimentares e vulcanoclásticas, compostas de camadas tabulares geralmente horizontais, foram originalmente mapeadas

como parte da seqüência fluvio-lacustrina siliciclástica da Formação Rio Doce, de idade terciária, sem atentar-se para sua natureza parcialmente vulcanoclástica. As observações microscópicas sugerem fenocristais de quartzo da fase alfa, idiomórficos e fragmentados, embutidos em matriz zeolítica-argilosa produzida por alterações hidrotermais. A forma fragmentada dos fenocristais aponta atividade vulcânica explosiva; o aumento da granulometria para oeste indica que os centros eruptivos estavam nessa porção, para além da área examinada. A descrição de rochas piroclásticas, na porção aflorante da bacia, representa um avanço importante no entendimento da evolução tectono-estrutural, contribuindo para uma revisão da coluna estratigráfica.

Palavras-chave: vulcanismo terciário | ignimbrito | rocha piroclástica | erupção subaquática | hidrotermalismo | Formação Rio Doce | Bacia do Espírito Santo

¹ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção do Espírito Santo. Gerência de Reservatórios. novais@petrobras.com.br

² University of Miskolc. Department of Geology. Hungary. zelenka.tibor@freemail.hu

³ Petrobras. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello. Gerência de Geologia Estrutural e Geotectônica. szatmari@petrobras.com.br

⁴ Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea. motoki@uerj.br

⁵ Petrobras. Abastecimento-Petroquímica e Fertilizantes. Gerência Setorial de Segurança, Meio Ambiente e Saúde. aires@petrobras.com.br

⁶ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção do Espírito Santo. Gerência de Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica. tagliari@petrobras.com.br

abstract

The intention of this work is to provide information on ignimbrite volcanoclastics, outcropping in the northern onshore part of the Espírito Santo Basin, and to examine their role in the tectonic–sedimentary evolution of the basin. We identified ignimbrites, pyroclastics of rhyolitic to dacitic composition, along the NNW-SSE to NW-SE-trending transcurrent fault system named here São Mateus Alignment or São Mateus Arch. We followed the mostly horizontally layered ignimbrites, at least 50m thick, for about 10km along and close to the margins of the São Mateus River. These ignimbrite bodies had been mapped before as fluvio-lacustrine sandstones of the Tertiary Rio Doce / Barreiras Formation, without recognizing their partially volcanoclastic character. Microscopic examination suggests idiomorphic and fragmented α -quartz phenocrysts, contained in a hydrothermally altered matrix of clay minerals and zeolites. The fragmented form of the phenocrysts points to explosive volcanic activity; grain size tends to increase westward, probably indicating the principal place of volcanic

centers. The outcropping sequence of ignimbritic rocks provides a major advance in the understanding of the basin's Cenozoic tectonic-structural history contributing to a revision of its stratigraphy.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: tertiary volcanism / ignimbrite / pyroclastics / subaqueous eruption / hydrothermalism / Rio Doce Formation / Espírito Santo Basin

introdução

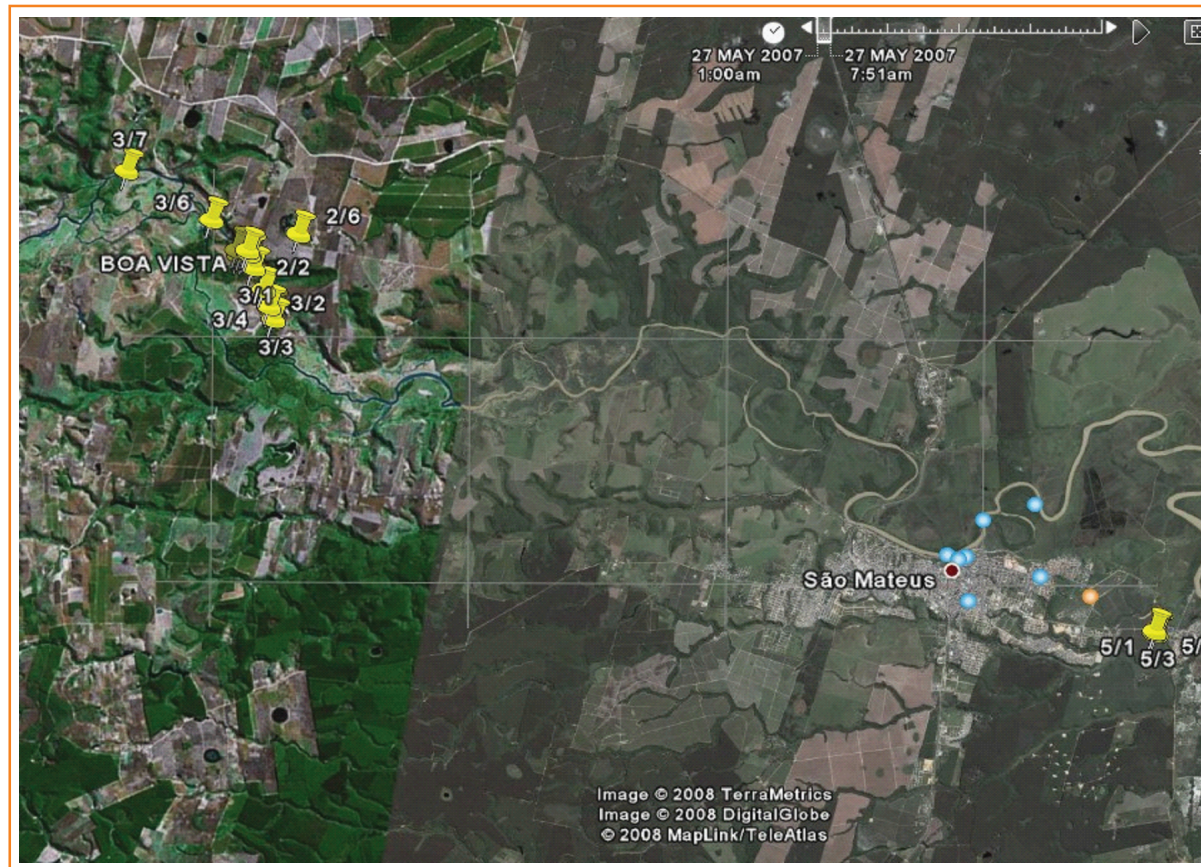
A região estudada (fig. 1) está inserida na porção norte da Bacia do Espírito Santo que evidencia diversos registros de atividades vulcano-magmáticas desde o início de sua formação, observados através dos poços de petróleo perfurados pela Petrobras a partir da década de 60. Os principais eventos – derrames efusivos, explosivos e intrusões de rochas vulcânicas – integram as formações Cabiúnas (composição toleítica) e Abrolhos (composição básica com afinidade alcalina), com idades, respectivamente, Eo-cretácea e Cenozóica (Paleógena).

Figura 1

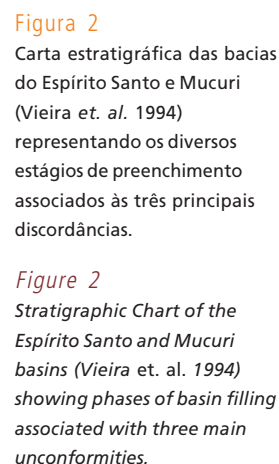
Mapa (Google) de localização da área estudada nas imediações da cidade de São Mateus (ES), porção norte da Bacia do Espírito Santo. Os afloramentos e as amostras coletadas (2/2 a 5/3) estão alinhados com o Rio São Mateus.

Figure 1

Location map (Google) of the study area, in the vicinity of São Mateus, in the northern part of the Espírito Santo Basin. The outcrops and samples (2/2 to 5/3) are aligned with the São Mateus River.



Corpos ígneos têm importantes funções nas formações de jazidas minerais e petrolíferas, através de intrusões de diques e de soleiras, fraturamento e circulação de fluidos hidrotermais que ascenderam de grandes profundidades transportando cátions (Na, K, Ca, Mg) e ânions (Cl, SO₄, CO₃), além de sílica,



sulfetos, elementos radioativos, entre outros, resultando em alterações secundárias (mineralógicas e geoquímicas) nas rochas encaixantes. Isso facilitaria a formação das fraturas abertas que posteriormente atuaram como condutos de mineralizações (Pires, 1995) e de hidrocarbonetos, neste caso quando há ocorrência de um sistema petrolífero.

Os processos hidrotermais modificaram as características originais da rocha, que às vezes está totalmente alterada, substituída por argilominerais. Entretanto, outras alterações secundárias (oxidação) podem ter sido causadas por processos diagenéticos graças à circulação de fluidos meteóricos que adentram na bacia (área de recarga), via porções proximais.

O último evento vulcânico da bacia originou uma província ígnea denominada de Complexo Vulcânico de Abrolhos (CVA), de alguma forma associado à continuidade da Cadeia Vitória-Trindade (CVT), ao sul, e à zona de fratura Vitória-Trindade (ZFVT) a leste, conectada a uma das diversas zonas de fraturas oceânicas (ZFOs) que por sua vez se estendem até a Cadeia Meso-Atlântica (CMA). Segundo Alves *et al.* (2005), o magmatismo e tectonismo Meso-Cenozóico do Sudeste Brasileiro pode ter sido condicionado pela projeção das ZFOs na margem continental.

Segundo Conceição *et al.* (1994) *apud* Oureiro, 2005, o vulcanismo terciário ocorreu no CVA sob um regime distensivo. O regime distensivo, causado pelo deslocamento da Placa Sul-Americana (PSA), é contemporâneo à formação das bacias continentais tipo rifte do sudeste (Taubaté, Resende, São Paulo *etc*) e à elevação das serras do Mar e Mantiqueira, segundo Riccomini (1995).

As idades desse vulcanismo foram obtidas pelo método Ar-Ar entre 60-40 Ma, de acordo com Sobreira e Szatmari (2000, 2001, 2002). Posteriormente, datações pelo método Ar-Ar em rocha total e plagioclásio revelaram idades entre 50 a 43 Ma, segundo Sobreira e Szatmari (2003) *apud* Arena *et al.* (2008). Segundo Sobreira e França (2006), o magmatismo é do tipo básico, intraplaca, de caráter toleítico a alcalino. Uma análise litogeoquímica realizada por Arena *et al.* (2008) em rochas basálticas do CVA discriminou uma série transicional de afinidade alcalina.

A introdução de corpos vulcânicos terciários na Bacia do Espírito Santo, de uma maneira geral, foi controlada por zonas de cisalhamentos com direções predominantes N-10-30-W, semelhantes ao Alinhamento Vitória-Ecoporanga (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1987), à Faixa Cataclasada Colatina (Cunha, 1987) ou à Faixa

Colatina (Novais *et al.* 2004). Estas direções, com variações NW-SE, ocorrem por toda a extensão da bacia e controlaram não somente a colocação de corpos vulcânicos meso-cenozóicos como também de rochas magmáticas, de idades neoproterozóicas associadas ao colapso da granitogênese brasileira. As direções acima correspondem às zonas de transferência da fase rifte, reativadas diacronicamente até o Recente, sendo responsáveis, inclusive, por parte do arranjo da rede de drenagem.

O vulcanismo nas bacias sedimentares da margem leste tem sido citado por diferentes autores (Mohriak, 1990; Oureiro, 2005; Mizusaki, 2008 *etc.*). Motoki *et al.* (2007) e Novais *et al.* (2007) relataram a ocorrência de rochas piroclásticas resultantes de um vulcanismo explosivo na Bacia do Espírito Santo. Cunha (1987), entretanto, foi quem primeiro descreveu, em afloramento na BR 101, norte do Rio Mucuri (limite bacias Bahia Sul – Espírito Santo): “uma soleira de rocha vulcânica, possivelmente de composição riolítica, introduzida em sedimentos imaturos da Formação Rio Doce”.

Alves *et al.* (2005) identificou, nas adjacências da Bacia de Campos, a ocorrência de vulcões altamente explosivos (tipo plinianos) de idade neocretácica. Arai (2008) relatou a ocorrência de fluxos piroclásticos associados a atividades vulcânicas explosivas no Cretáceo Superior das Bacias de Santos e Campos.

Eventos vulcânicos muito novos, com características de derrames (de idade neógena), foram relatados por Klein (1999) no sul da Bahia, associados aos sedimentos da Formação Barreiras.

Sobreira (1997) *apud* Sobreira e Szatmari (2001) identificou próximo à Bacia do Espírito Santo, através de dados geofísicos (seções sísmicas, gravimetria e magnetometria), feições que sugerem diques ígneos truncando estratos de rochas sedimentares mais novas que o Eoceno Médio, o que poderia ser interpretado como uma fase tardia do magmatismo de Abrolhos, porém, mais restrita e de caráter intrusivo.

No presente trabalho, pretende-se relatar os resultados preliminares de estudos de campo, realizados entre 2005 e 2007, que revelaram a ocorrência ampla de rochas piroclásticas de composição riolítica-dacítica-riodacítica, provavelmente de idade Cretácea-Terciária (Paleógena), formadas em ambiente subaéreo / subaquático no norte da Bacia do Espírito Santo (entre as cidades de Pinheiros e São Mateus). Dados geofísicos e de campo indicam um forte controle tectônico na dinâmica do evento vulcânico.

A suíte vulcânica é contemporânea a um regime de esforços compressivos e de soerguimentos pós-rifte na bacia, em condições predominantemente rúpteis, relacionadas às falhas transcorrentes que se comportaram como zonas de fissuras, associadas a caldeiras para ascensão do magma. As rochas vulcânicas observadas recobrem o embasamento pré-cambriano em uma posição proximal da bacia.

metodologia utilizada

O estudo inicial para concepção do modelo tectono-estrutural, responsável pelos eventos vulcânicos, baseou-se na integração de dados geológicos e geofísicos que ajudaram na identificação dos alinhamentos bem como dos altos e dos baixos estruturais. Eles foram interpretados inicialmente através de mapas plani-altimétricos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nas escalas 1:1.000.000 e 1:250.000, fotografias aéreas (escala 1:50.000), imagens de radar (RADAM) e de satélites (Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006), seções sísmicas, mapas magnéticos, gravimétricos e estruturais (de domínio público). Posteriormente, outros dados foram incorporados como caracterização petrográfica, mineralogia dos argilominerais, informações de perfis etc.

modelo tectono-magmático

Para entender a evolução de ocorrência de corpos vulcânico-magmáticos na Bacia do Espírito Santo, desde o final do ciclo brasileiro, recorreu-se também à literatura sobre a ocorrência de falhas e fraturas associadas a esses eventos. Wernick *et al.* (1993), estudando complexos granitóides brasileiros no Estado de São Paulo, relacionou-os às falhas transcorrentes, ressaltando uma ligação direta entre feições estruturais com o processo evolutivo de corpos magmáticos. Suas ascensões teriam ocorrido por propagação de diques que alimentaram câmaras intracrustais recarregáveis. Hutton (1982) relata a importância de falhas transcorrentes como condutos magmáticos que alcançam níveis crustais muito rasos.

O presente trabalho baseou-se também em algumas interpretações de Anderson (1951) *apud* Ferrari e Riccomini (1999) para a CVT pois, de uma maneira geral, diques vulcânicos são bons indicadores tectônicos e se colocam a 90° do esforço principal mínimo (σ_3). Aqui, foram utilizadas as orientações do Dique Vitória

(Novais *et al.* 2004) – registro da abertura continental no Cretáceo Inferior, na porção sul da bacia – e as direções de ocorrência das manifestações vulcânicas mesozoóicas, na porção norte para sugerir um controle tectônico regional recorrente, segundo direções pré-determinadas. Nesse último período é sugerido que tenha prevalecido um regime dominante de cisalhamento simples (rúptil), com a direção de esforço máximo horizontal (σ_1) coincidente com os principais eixos de colocação das rochas vulcânicas.

O evento vulcânico, observado no norte da bacia, está alinhado com um eixo de arqueamento estrutural, aqui denominado Arco de São Mateus (ASM) segundo Novais *et al.* (2007). Trata-se de uma feição tectônica longitudinal de soerguimento originada por esforços regionais compressivos, de direções NW-SE. O evento é marcado por atividades explosivas de grande magnitude, subaquáticas e/ou subaéreas com conseqüente formação de brechas piroclásticas, tufos, lapilitos, rochas do tipo igimbriticas e co-ignimbriticas. Próximo à divisa com Minas Gerais, o ASM trunca a Faixa Colatina (que possui direção NNW-SSE), alinhando-se no interior do continente com a porção nordeste do Estado de Minas Gerais. Em trabalho recente e inédito, Raposo *et al.* (2008) relata a ocorrência de depósitos piroclásticos (semelhantes aos descritos aqui) no Médio-Jequitinhonha (NE de Minas Gerais) porém interpretado por eles como oriundos da abertura do Oceano Atlântico-Sul (fase rifte).

Variados sistemas de fraturas encontram-se preenchidos pelas rochas vulcânicas nas imediações do ASM devido às deformações rúpteis, descompressão e ascensão de fluidos magmáticos. Sugere-se aqui que estes registros sejam de origem sublitosféricas, associados às zonas de fraqueza da crosta causados pelo processo de tectônica de placas, conforme o modelo de Anderson (2005) *apud* Marques (2008).

O modelo tectono-estrutural inicialmente proposto para a Bacia do Espírito Santo (Vieira, 1998) foi de um sistema rifte eocretáceo (com formação de *horsts* e grábens alinhados), dominado por falhas normais, N-S e N-10-E, que integram uma zona denominada de Charneira de Cedro Rio Doce. Estas foram interceptadas por falhas transcorrentes, com direções N-10-30-W, com variações NW-SE, denominadas Zona de Transferência Cedro Sul, na porção centro-sul, todos herdados do final do Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico). Estes elementos estruturais, considerados como zonas de cisalhamento ou de condutos vulcânicos-magmáticos, foram responsáveis, em

parte, pela rota de sedimentação e compartimentação da bacia (algumas vezes com inversões de depocentros), pelo controle do sistema hidrodinâmico bem como pela geometria da rede de drenagem (neotectonismo), segundo Novais (2005).

O estudo das zonas de cisalhamento tem sido impulsionado pela relação entre pulsos tardios de hidrotermalismo e mineralizações associadas devido, principalmente, à circulação de fluidos (Motoki *et al.* 2007). Estes eventos também propiciaram a formação de fraturas-condutos ou corredores de deformação rúpteis, transversais ao eixo principal de abertura da bacia (zona de charneira cretácea), responsáveis pelo transporte de hidrocarbonetos das porções mais profundas para as regiões proximais (borda da bacia).

Atividades tectônicas recorrentes, em zonas de cisalhamento em níveis crustais profundos, condicionaram eventos ígneo-vulcânicos que intrudiram o embasamento pré-cambriano da bacia, alcançando as camadas da Formação Rio Doce.

A Formação Rio Doce, posicionada entre o Paleoceno e o Mioceno inferior, foi descrita e datada por Asmus *et al.* (1971) entre 60 e 30 Ma no poço ESS-2, perfurado na porção marítima da Bacia do Espírito Santo. As características litológicas permitiram informalmente distinguir três subunidades: os membros Piraúna, Piratinga e Piranha.

O Membro Piranha foi descrito por Asmus *et al.* (1971) como constituído por arenitos muito grossos, esbranquiçados e acinzentados, com grãos angulares e subangulares, quartzosos e feldspáticos. O modelo sedimentar proposto neste trabalho é o de fluxos de detritos gravitacionais, disparados por tremores (sismos) episódicos controlados por um tectonismo recorrente e comandado por falhas transcorrentes de direções NNW-SSE e NW-SE. Os sedimentos da Formação Rio Doce pertencem a um ambiente deposicional de leques aluviais associados a rios entrelaçados (porção proximal), às vezes acompanhados de pequenos sistemas lacustres rasos, por vezes intercalados com rochas vulcânicas básicas e ácidas. Nas porções distais, eles interdigitam-se com carbonatos de plataforma rasa marinha da Formação Caravelas. Associados aos arenitos dessa formação, ocorrem lamitos de cores verde clara-acinzentada constituídos por argilominerais, principalmente caolinita e secundariamente illita, bem como o interestratificado illita-esmectita, produtos das alterações secundárias de rochas vulcânicas ácidas.

Nas bacias vizinhas de Santos e Campos, um processo térmico terciário já foi documentado por

Hamza *et al.* (2005). Simulações numéricas indicaram anomalias no intervalo entre 80 e 40 Ma, contemporâneo ao vulcanismo terciário na margem sudeste. Ainda segundo esse autor, o calor residual imputado às rochas geradoras, de certa forma, pode ter sido responsável pela evolução de índices de maturação térmica nas bacias afetadas por esses eventos tectono-magmáticos. Na Bacia do Espírito Santo, Del Rey e Zembruski (1991) reconheceram um estreito relacionamento entre anomalias geotérmicas e a sua estruturação.

Ao longo da área estudada observam-se, através de imagens de radar, satélite e cartas topográficas, formas geométricas circulares e retilíneas da drenagem. Este padrão geométrico, integrado com dados geofísicos e mapeamento geológico de detalhe, sugerem tratar-se de resquícios de zonas de deformação da crosta associadas a condutos vulcânicos por onde explodiram os piroclásticos. Estudos geomorfológicos utilizando padrões de drenagem e de relevo ajudam na investigação estrutural de áreas sedimentares, podendo constituir em uma técnica útil para o estabelecimento de um modelo tectono-estrutural mais consistente. Mello *et al.* (2005) analisaram a rede de drenagem e feições rúpteis na cobertura sedimentar da bacia, associando-as com os campos de paleotensões e com o modelo neotectônico da bacia. Eles também assinalaram a ocorrência de esforços compressivos de direções NNW-SSE no centro-norte da bacia.

afloramentos e petrografia da seqüência ignimbrítica

A região pesquisada é coberta por espesso regolito e densa floresta tropical o que prejudica a visualização dos depósitos vulcânicos. As exposições favoráveis estão limitadas às margens dos rios São Mateus e do Norte (fig. 1). Foram descritos em suas margens nove afloramentos e três na cidade de São Mateus e posteriormente realizados estudos petrográficos.

Parte dos afloramentos visitados situa-se numa faixa de 8km (Fazenda Boa Vista) no segmento de direção NW-SE onde se encaixa o Rio São Mateus, controlado tectonicamente pelo ASM. O Platô da Fazenda Boa Vista ao longo do rio homônimo, situado 50-70m acima de seu leito (onde foram coletadas as amostras 2/2 a 3/4), tem uma largura de 3-4km e é recoberto por piroclastitos que se estendem tanto para o sul do rio como para leste, até os lobos orientais onde está

construída parte da cidade de São Mateus (amostras 5/1 a 5/3; fig. 1). Os resultados de estudos petrográficos e mineralógicos preliminares indicam processos de deposição por fluxos de massa, suspensão e tração com composições riodacítica a dacítica. As texturas e estruturas dos depósitos piroclásticos são estratificadas e às vezes maciças. Na área de Boa Vista, em uma seção vertical descendente, distinguem-se três unidades:

unidade superior : piroclastitos de ash-cloud surge

O afloramento padrão é a parte superior de uma queda de água situada na Fazenda Boa Vista (amostra 2/6). A rocha é de granulometria fina (<0,1mm), localmente laminada ou formando bancos, e rica em limonita secundária. A textura é hialoclástica, com púmices arredondados e fragmentos (*shards*) tabulares de vidro vulcânico, cimentados por uma matriz vítrea. Os cristaloclastos estão orientados, variam de 50 a 200 micrometros e são compostos de albite, quartzo, anfibólio, mica e magnetita. Veios de opala e calcedônia, de 200 a 300 micra de largura, são acompanhados por limonitização, como observado na figura 3.

unidade intermediária: fluxo de piroclastito

São correntes gravitacionais com alta concentração de partículas, em geral mal selecionadas e pouco estratificadas, ocorrendo nas porções proximais e confinadas em depressões. Elas ocorrem ao longo do Vale do Cricaré como fluxos piroclásticos moderadamente soldados (*welded*), com espessuras superiores a 10m. Internamente distinguem-se unidades de esfriamento com uma estratificação cristaloclástica negro e vermelho (fig. 4). Algumas vezes, devido à contração por esfriamento, as rochas ignimbríticas exibem disjunções colunares e brecha co-ignimbrítica (fig. 5). Este tipo é permeado por veios de brechas ignimbríticas oxidadas, preenchendo fraturas secundárias e ricas em componentes líticos (fig. 6).

Na base de algumas das camadas do afloramento, fragmentos de cristais associam-se aos grãos de escória de 5mm a 10mm (fig. 7). O exame microscópico mostra fragmentos (*shards*) de vidros e púmices deformados plasticamente, recobrimdo os fragmentos de cristais, sugerindo texturas de fluxo. Os componentes vítreos possuem formas reticulares e transformaram-se secundariamente em argilominerais (fig.

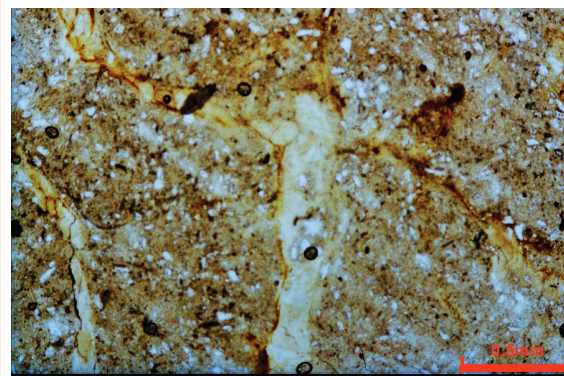


Figura 3
Fotomicrografia (nicóis cruzados) mostrando exemplo do depósito piroclástico (*ash-cloud surge*) com púmices arredondados e fragmentos (*shards*) tabulares de vidro vulcânico. Os cristaloclastos (50/200 micrômetros) estão orientados, sendo compostos de albite, quartzo, anfibólio, mica e magnetita e veios de calcedônia.

Figure 3
Photomicrograph (crossed nicols) showing an example of the pyroclastic flow (ash cloud surge) with rounded pumice fragments and tabular shards of volcanic glass. The crystalloclasts (50 to 200 micrometers) are oriented and composed of albite, quartz, amphibole, mica and magnetite and chalcedony concretion veins.

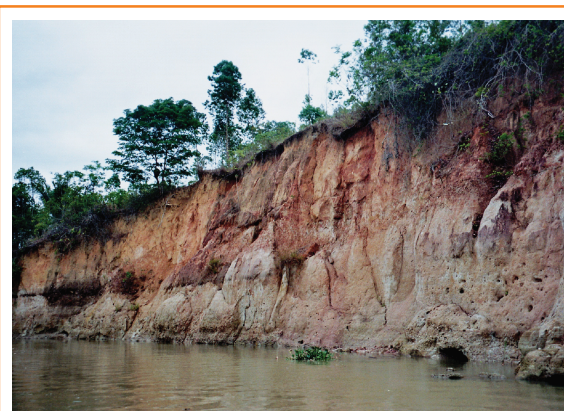


Figura 4
Exposição do registro piroclástico (ignimbrito) moderadamente soldado, alterado com espessura da ordem de 10m.

Figure 4
Exposure of the pyroclastic layer (ignimbrite) moderately welded, with thickness of the order of 10m.



Figura 5
Exposição do registro ignimbrítico (cerca de 3m de espessura) exibindo estruturas de contração por resfriamento (disjunções colunares).

Figure 5
Outcrop of welded ignimbrite (about 3m thick) showing columnar joints formed by cooling contraction.

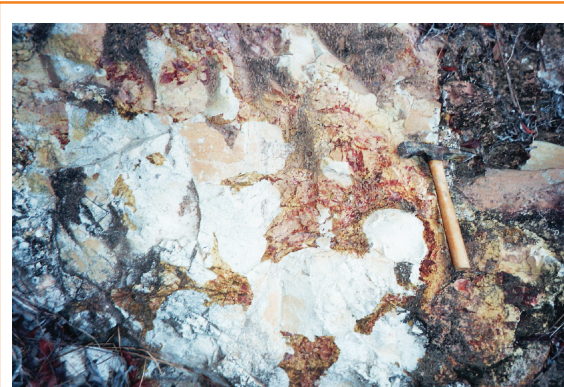


Figura 6
Detalhe do afloramento da figura 5 mostrando uma brecha co-ignimbrítica rica em elementos líticos, oxidadas com fraturas secundárias pós-deposicionais.

Figure 6
Detail of the previous outcrop up showing oxidized co-ignimbrite breccia, rich in lithic fragments, with post-depositional secondary fractures.

Figura 7

Fotomicrografia (nicóis cruzados) da base de uma camada acima mostrando cristaloclastos entre 500 a 1.500 micra (albita, sanidina, plagioclásio, mica, anfibólio, quartzo, biotita, magnetita e riolito esferulítico) junto de grãos de escória. O exame microscópico mostra cacos (*shards*) de vidro e púmice deformados plasticamente.

Figure 7

Photomicrograph (crossed nicols) at the base of the above layer showing crystalloclasts of 500 to 1.500 microns (albite, sanidine, plagioclase, mica, amphibole, quartz, biotite, magnetite and grains of spherulitic rhyolite). The microscopic examination shows plastically deformed glass shards and pumice.

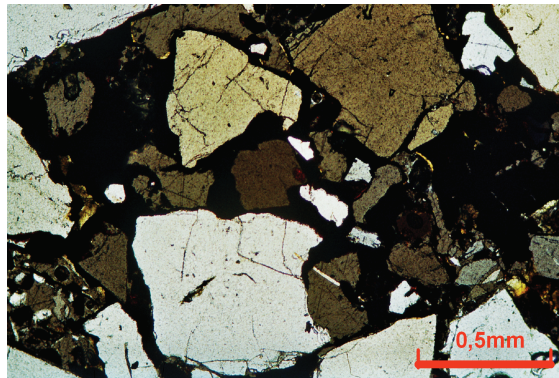


Figura 8

Fotomicrografia mostrando uma rocha ignimbrítica com vidro vulcânico (*glass shard*), púmice, quartzo e feldspato entre 3 a 5mm (nicóis paralelos).

Figure 8

Photomicrograph of an ignimbrite with volcanic glass shards, pumice, quartz and feldspar, 3 to 5mm (parallel nicols).

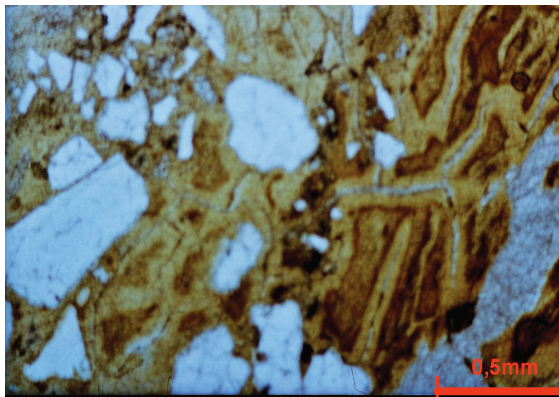


Figura 9

Fotomicrografia mostra um ignimbrito soldado formado por cristaloclastos com textura de refusão (corrosão nas bordas por alta temperatura), nicóis paralelos.

Figure 9

Photomicrograph of a welded ignimbrite formed by crystalloclasts with resorption texture (corrosion of borders by high temperatures), parallel nicols.

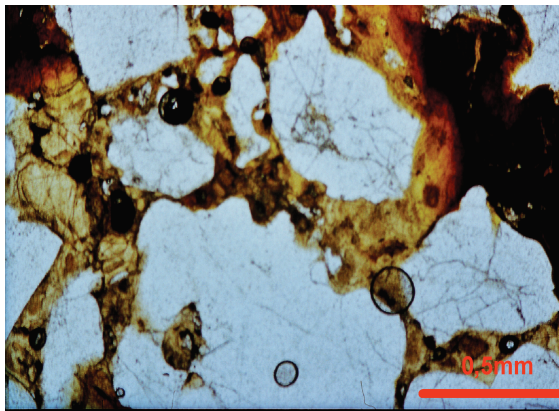
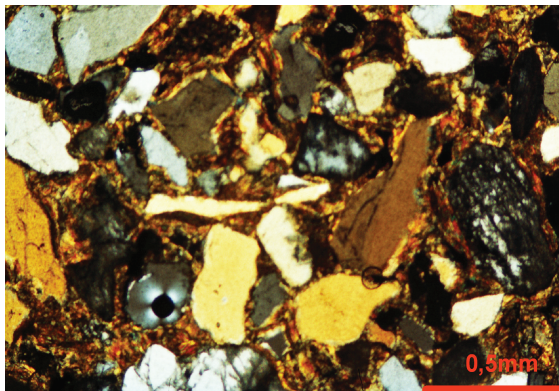


Figura 10

Fotomicrografias (nicóis paralelos) mostrando cristaloclastos angulares de quartzo, feldspato e esferulitos com matriz vítrea.

Figure 10

Photomicrograph (parallel nicols) showing crystalloclast fragments of angular quartz and feldspar phenocrysts and spherulites, with vitreous matrix.



8). Os cristais da rocha, de 500 a 1.500 micra, são compostos de albita, sanidina, plagioclásio (oligoclásio e andesina), mica, quartzo (duas gerações), anfibólio, biotita e magnetita. Fragmentos de quartzo e de riolito esferulítico, de 1.000 a 1.500 micra, formam inclusões. Na parte superior das correntes de alta densidade ocorrem depósitos denominados de piroclásticos de surge, que são formados por fragmentos menores.

Os depósitos de fluxos piroclásticos foram encontrados em afloramentos contínuos no vale do Rio São Mateus, com decréscimo da granulometria, de W para E, à medida que se afasta do centro eruptivo. Na porção oeste (proximal), os fragmentos de cristais e púmices têm dimensões que variam de 3mm a 5mm (amostras 3/6 e 3/7; fig. 9). Na figura 9 são observados, também, fenocristais com golfos de corrosão ou reabsorção, sugerindo a contribuição de diferentes processos térmicos.

Na unidade intermediária, mais distal, os fragmentos variam de 2mm a 3mm (amostras 2/1 e 2/2) e, na porção leste terminal, de 1mm a 3mm (amostra 3/4; fig. 10).

unidade inferior: ground surge ou surge de base

São depósitos mais diluídos que se deslocam a frente do fluxo, sendo caracterizados pela baixa concentração de partículas que resulta muitas vezes em fácies estratificadas contínuas ou descontínuas, compostas de dois tipos de depósitos de *surge*.

O primeiro originou um depósito do tipo *surge* explosivo escaldante, sendo composto de camadas de granulometrias variadas (3-4mm e 1-2mm; fig. 11). O conjunto é também composto por camadas, conjuntos (*sets*) de laminação cruzada (fig. 12), ou dunas (fig. 13), semelhantes aos encontrados em ambientes sedimentares.

Microscopicamente são observadas partículas de vidro deformadas plasticamente e soldadas aos cristais fragmentados de quartzo, feldspato, anfibólio, biotita e magnetita (fig. 14). Além destes fragmentos, *lapillis* acrecionais também são freqüentes (fig. 15).

O segundo tipo de depósito originou um fluxo piroclástico frio principalmente subaquático (amostra 3/3), predominantemente de laminação fina (fig. 16). Sua textura é de vidro, com a alternância de lâminas bem selecionadas, de 0,5-1,0mm e de 1,0-1,5mm de espessura. Quase a totalidade do vidro consiste em púmices em forma de gotas, com fragmentos (*shards*) e placas de vidro cujo material alterou-se para o argilomineral zeólita. Esta alteração secundária é característica de



Figura 11 – Bloco desmoronado de uma rocha piroclástica ignimbrítica (ground surge) que origina depósitos de surges explosivos escaldantes. É composto de camadas de diferentes granulometrias.

Figure 11 – Collapsed block in a pyroclastic flow (ground surge), which originates from burning explosive surges. Layers differ in grain size.



Figura 12 – Registro de um fluxo piroclástico (ground surges) com um conjunto de laminação cruzada.

Figure 12 – Pyroclastic flow (ground surge) with cross-laminated sets.



Figura 13
Depósitos ignimbríticos na margem do Rio São Mateus mostrando feições de dunas vulcânicas.

Figure 13
Ignimbrite deposits on the bank of the São Mateus River showing features of volcanic sand dunes.

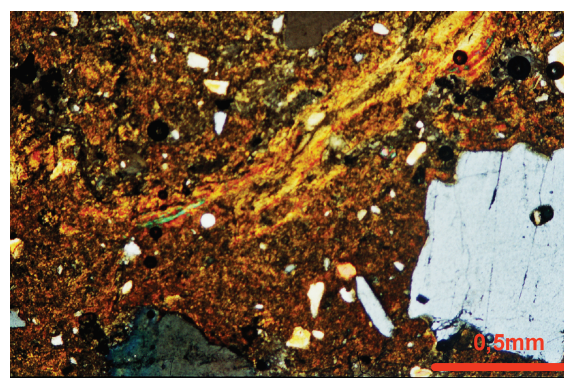


Figura 14
Fotomicrografias com púmices deformados plasticamente e soldados aos cristais de feldspatos que apresentam os bordos corroídos. Nicóis paralelos.

Figure 14
Photomicrograph of pumices deformed plastically and welded to feldspar crystals with corroded edges. Parallel nicols.



Figura 15
Registro de uma rocha ignimbrítica (arenito tufáceo) não-soldada com lapillis acrecionais.

Figure 15
Outcrop of ignimbrite tuff, not welded by accretion of lapillis.

ambientes de baixas temperaturas e levemente alcalino. O cimento é quase inexistente, a rocha é uma areia caracterizada como sendo um depósito de tufo solto que consiste em 90 a 95% de vidro vulcânico e púmice. Os fragmentos de cristais variam de subarredondados a angulosos e consistem em minerais de albita, oligoclásio com geminação laminar, anfíbólio, quartzo e magnetita, e possuem granulometria de 200 a 1.100 micra. Ocorrem também grãos de escória vesicular de 400 a 1.000 micra (amostra 3/3).

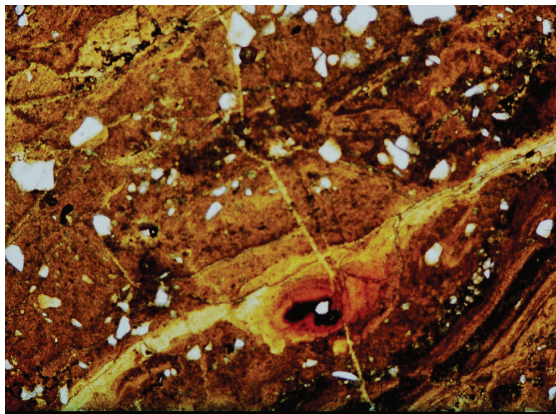
Em lâmina delgada, a imagem microscópica, em nicóis paralelos mostra textura porfirítica *lato sensu* com abundantes grãos de quartzo, em torno

Figura 16

Fotomicrografia de uma rocha piroclástica (amostra 3/3) de textura fina, subaquática predominantemente de laminação fina. Os cristaloclastos consistem de albita, oligoclásio com geminação laminar, anfibólio, quartzo e magnetita.

Figure 16

Photo micrograph of pyroclastic (sample 3/3) rock with fine texture, subaquatic, predominantly finely laminated. The crystalloclasts consist of albite, oligoclase with laminar twinning, amphibole, quartz and magnetite.



de 15% modais, segundo a análise de imagens digitais pelo método de Motoki *et al.* (2006a, 2007). O tamanho dos grãos é muito variável, desde micrométrico até milimétrico (figs. 17a, 17b, 17c, 17d, 17e, 17f). Além do quartzo, encontram-se poucos grãos de minerais opacos de tamanho inferior a 200 micrômetros. Ocorre, raramente, a biotita como inclusão dentro do quartzo. Alguns grãos de quartzo são idiomórficos, apresentando hábito bipiramidal, correspondente à fase alfa (α -quartz) com textura de refusão (fig. 17; seta 1). Esta forma indica a cristalização a partir do magma de alta temperatura, correspondendo a fenocristais de rochas vulcânicas ácidas. Existem alguns grãos com forma parcialmente idiomórfica e também parcialmente fragmentada, os grãos menores são mais abundantes. Não há indícios de seleção granulométrica, orientação ou acamamento. Este fato sugere ocorrência de atividade vulcânica que pulverizou os grãos idiomórficos tal como uma erupção explosiva, fenômeno comumente observado em rochas piroclásticas. A matriz é caracterizada por intensa sericitização e silicificação. A sericita tem hábito reticular e possui granulometria relativamente grossa, com comprimento de 100 micrômetros (figs. 17b seta 5 e 17c seta 6). A cor bege relativamente escura da matriz, observada em nicóis paralelos, é devida à sericita (figs. 17a, 17b, 17d e 17e). Esta feição indica forte efeito de desvitrificação em condições hidrotermais da matriz, composta de fragmentos finos de vidro vulcânico (*glass shard*) ou *fiammes*. A textura ígnea original da matriz não está preservada devido ao alto grau de alteração para argilominerais. Ao longo das fraturas, observa-se a precipitação sugestiva de calcedônia, formada pela cristalização da sílica excedente (figs. 17a, setas 2 e 3 e fig. 17b, seta 4), apresentando

cor creme. A calcedônia eventualmente forma concentrações elipsóides, de tamanho de 200 micrômetros a 2mm (figs. 17a, seta 3 e fig 17d, seta 7). Este mineral precipitou-se possivelmente graças à circulação de fluidos silicosos de alta temperatura, a exemplo da Bacia de Resende, onde foram identificados registros hidrotermais com formação de calcedônia, próximos aos maciços alcalinos, segundo Valença (1974) *apud* Santanna e Riccomini (2001).

Corpos tabulares aflorantes na margem leste da cidade de São Mateus, no Bairro Pedra D'água (amostra 5/3; fig. 18), ricos em fragmentos de cristais, foram provavelmente depositados por *surges* de depósitos piroclásticos mais grosseiros, posteriormente oxidados, descritos no passado como registros sedimentares pertencentes à Formação Barreiras. Afloram nesta porção duas camadas: a inferior é composta de rocha ignimbrítica mais grosseira, rica em fragmentos de cristais e litoclastos, e a superior, de granulação fina provenientes de um depósito de *ash-cloud surge*.

gênese dos piroclastos

Os fluxos ou correntes piroclásticas da região de São Mateus (ES) foram provavelmente produzidos por erupções freatomagmáticas do tipo Surtsey (Cas e Wright, 1988) e depositados em águas rasas. Erupções desse tipo são muito explosivas, provocando mudanças bruscas de estado, controladas por vapor oriundo de contato com fontes termais com temperaturas acima de 1.000°C. Os depósitos no norte do Espírito Santo são fortemente fragmentados; os fragmentos angulares de cristais sugerem que a fonte magmática era rica em cristais. Estes são formados por plagioclásios como albita, oligoclásio-andesina, com quantidades menores de sanidina, quartzo, anfibólio, biotita e magnetita. Esta parágênese associa-se a um ambiente de composição dacítica a riódacítica.

Na área examinada, não foram encontrados centros de erupção vulcânica, possivelmente erodidos. O aumento dos depósitos piroclásticos grosseiros (amostras 3/7 e 3/6) para oeste, ao longo do Rio São Mateus, sugere que os focos de erupção posicionavam naquela região, a uma distância de 2-3km. Nos afloramentos próximos à cidade de São Mateus (ES), a granulometria mais fina dos piroclastos (em média, menos de 1mm; amostra 5/3) indica que estes se acumularam longe (6-8km) dos centros de erupção (fig. 19).

Na área da Fazenda Boa Vista, distinguem-se três ciclos dos depósitos de erupções freatomagmáticas. Na base, camadas pouco espessas (menor que 1m), oriundas de um base *surge*, depositaram-se em água fria sobre folhelhos lacustres. Elas foram sobrepostas por depósitos mais grosseiros de fluxos quentes, escaldantes, formando ignimbritos soldados em graus diferentes: primeiro depositaram-se brechas co-ignimbríticas de 1m a 5m, elas foram cobertas por piroclastitos soldados espessos, mais oxidados, que contêm abundantes fragmentos de púmices e de cristais, semelhantes a *red-beds* de arenitos oxidados. No topo, são observados depósitos oxidados do *ash-cloud surge* de granulometria fina que se formaram ao fim da erupção piroclástica.

A ocorrência de processos de alteração para argilominerais (ilitização, cloritização, sericitização, zeolitização) e silicificação muito intensas indicam temperatura compatível com sistemas hidrotermais. O processo de hidrotermalismo e mineralizações associadas têm sido imputadas às zonas de cisalhamento (Motoki *et al.* 2007).

A forma fragmentada e pulverizada do quartzo, em lâmina delgada, indica uma origem piroclástica. Estas rochas têm duas formas de posicionamento: depósitos formados pelas acumulações de quedas verticais dos materiais (chamados vulcanologicamente de *fall*), tais como cinzas, escórias e bombas; e depósitos formados pelo movimento horizontal de materiais piroclásticos em alta velocidade, denominados *flow*, como *surge* ou fluxo piroclástico (classificado como ignimbritos, segundo Pinho *et al.* 2001). Os fluxos piroclásticos formam-se em ambiente subaéreo ou subaquático e as camadas horizontais sugerem deposição subaquática ou subaquosa (Motoki *et al.* 2004; 2005; Motoki e Sichel, 2006; Motoki *et al.* 2006c, 2006d, 2006e).

A sericitização é observada comumente em rochas piroclásticas de preenchimento de condutos e fissuras subvulcânicas tal como do Sumiyoshigawa Acidic Rock Body, Japão (Motoki, 1979). Ocorrem também em faixas hidrotermalizadas de fluxos piroclásticos subaéreos de composição riolítica, tal como o de Mitsubishi, província de Okayama, Japão (Hongu *et al.* 2000), e de Shôkôzan, província de Hiroshima, Japão (Hida *et al.* 1996), onde se encontram jazidas de pirofillita. A sericitização dessas rochas pode ser originada do processo de alteração do vidro vulcânico (*glass shard*), que é o componente principal da matriz.

Depósitos de fluxos piroclásticos relacionados a um estilo de erupção explosivo com hidrotermalismo tardio já foram identificados em poços perfurados na plataforma

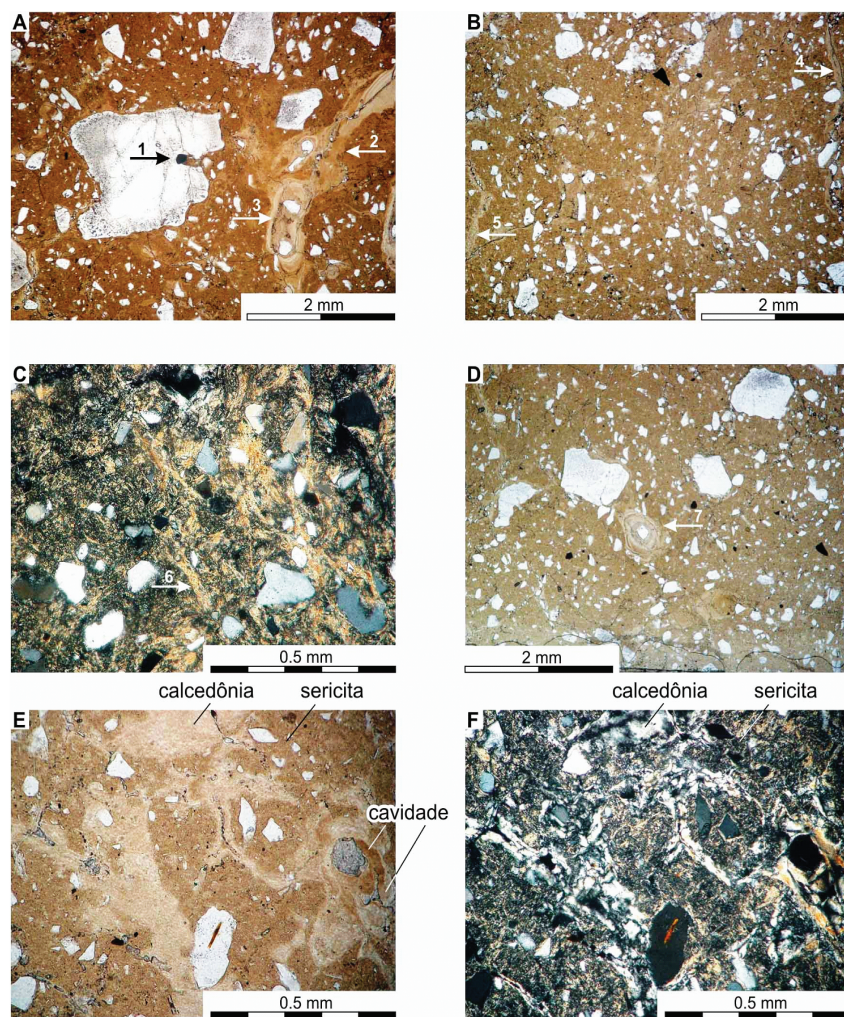


Figura 17 - Aspectos microscópicos da amostra (5/3) coletada: a) fenocristal quartzo idiomórfico do hábito alfa com textura de refusão, nicóis paralelos; b) grãos fragmentados de quartzo de tamanho variável, nicóis paralelos; c) sericita-ilita de hábito reticular, nicóis cruzados; d) concentrações elipsóides de calcedônia, nicóis paralelos; e) texturas em detalhe de calcedônia e sericita-ilita, nicóis paralelos; f) a mesma parte da lâmina em nicóis cruzados.

Figure 17 - Microscopic view of the sample collected from the 5/3: a) α -phase idiomorphic quartz phenocryst with resorption texture, parallel nicols; b) fragmented quartz grains of large size variation, parallel nicols; c) reticular networked sericite-illite, crossed nicols; d) ellipsoidal chalcedony concretion, parallel nicols; e) detailed texture of chalcedony and sericite-illite, parallel nicols; f) the same part of the thin section with crossed nicols.

continental do Espírito Santo e Bahia e em afloramentos no norte capixaba, descritos por Motoki *et al.* (2007).

Atividades magmáticas, também de caráter explosivo (vulcanismo intraplaca), foram registradas pela Petrobras em poços exploratórios na Bacia de Campos (Mohriak e Barros, 1990). Alves (2006) e Arai (2008) relatam a ocorrência de eventos explosivos, porém no Cretáceo Superior da Bacia de Campos e de Santos. Na Bacia do Espírito Santo, alguns

Figura 18

Corpos tabulares oriundos de fluxos piroclásticos (*surge*) altamente oxidados na cidade de São Mateus (ES).

Figure 18

Tabular layers of highly oxidized pyroclastic flows within the city of São Mateus (ES).

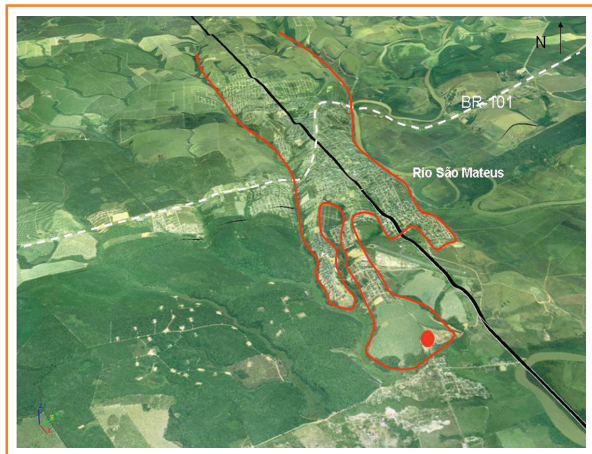


Figura 19

Localização (linha vermelha) de um extenso depósito de fluxo piroclástico no qual está posicionado o afloramento da figura 18 (círculo vermelho).

Figure 19

Location (red dashed line) of an extensive pyroclastic flow where is located outcrop in figure 18 (red circle).



poços tanto na porção terrestre como marítima atravessaram depósitos ignimbríticos do tipo tufos e brechas piroclásticas altamente oxidados, sugerindo ambiente subaéreo para estas fácies.

discussões sobre o modelo tectono-vulcânico

As observações geológicas e petrográficas permitem aos autores sugerir o seguinte processo de formação desta rocha vulcânica: no Neocretáceo/ Terciário início da sedimentação da Formação Rio Doce ocorreram reativações de falhas transcorrentes ou de transferência herdadas da fase rifte, associadas a caldeiras, por onde ocorreu o extravasamento do magma. Alinhamentos estruturais no qual está associado o ASM, foram originados nesse período. Os arcos estruturais são feições que focalizam o fluxo hidrodinâmico de uma bacia sedimentar, propiciando a formação de corredores de circulação de fluidos. Braun (2005) resalta a estreita relação entre os arcos ou eixos de

arqueamento de direções NW-SE, no Brasil, com os eventos mesozóico-cenozóicos e atividades vulcânicas explosivas. O evento vulcânico que ocorre junto ao ASM poderia ter favorecido um incremento no fluxo térmico bem como uma maior taxa de deformação no embasamento e cobertura sedimentar, que poderia contribuir para a formação de reservatórios fraturados e maior circulação de fluidos quentes, favorecendo o sistema petrolífero. Segundo Hamza *et al.* (2005), as regiões dos altos estruturais induziriam aumentos localizados no fluxo de calor devido à baixa espessura de sedimentos. Ainda segundo estes autores, as áreas caracterizadas por gradientes térmicos elevados, na região sudeste, ocorreriam junto às intrusões rochas vulcânicas.

O magma – junto ao ASM, próximo à superfície, em contato com sedimentos aquosos – promoveu uma explosão de vapor, formando grãos pulverizados de quartzo e *glass shards* com intensa hidrotermalização, acompanhada de processos de zeolitização, silicificação, sericitização e/ou ilitização. Estes registros vulcânicos sugerem deposições a partir de fluxos piroclásticos primários quentes, originados em um regime de vulcanismo subaéreo e subaquoso, possivelmente associado aos estágios finais do vulcanismo de Abrolhos.

Com base nas diversas ocorrências citadas anteriormente, propõe-se, no presente trabalho, para a origem das rochas vulcânicas ácidas, a ocorrência de um alinhamento ou eixo de arqueamento que integra uma entidade denominada Arco de São Mateus; no qual se encaixa, por vezes, o Rio São Mateus; considerado aqui como uma descontinuidade crustal, comportando-se como uma zona de fissura profunda. O evento vulcânico foi preferencialmente subaquoso/subaquático, e o magma atingiria a superfície através de extensos condutos lineares e caldeiras, fluindo nos flancos em forma de depósitos piroclásticos de fluxo e nas porções marítimas, como hialoclastitos. As reativações posteriores causaram prolongamentos das falhas para porções superiores, causando neotectonismo que afeta toda a bacia, controlando inclusive a rede de drenagem. Mohriak (2006) sugeriu, na região de Abrolhos, através de datações com traços de fissão de apatita, soerguimentos cuja fase principal ocorreu em torno de 50 Ma, inclusive com recorrência no Neógeno. Ainda segundo esse autor, tal evento estaria associado a forças tectônicas compressionais.

conclusões

Os trabalhos de campo e as observações microscópicas confirmaram a ocorrência de rochas ignimbríticas formadas por fluxos piroclásticos de composição ácida (riolitos, dacitos e riodacitos), produtos de vulcanismo explosivo de alta temperatura em ambientes subaquáticos e/ou subaquosos. O evento explosivo ocorreu durante o Neocretáceo/Eo-Mesoterciário, possivelmente associado ao Membro Inferior da Formação Rio Doce. As erupções foram seguidas pelo intenso hidrotermalismo em que os fragmentos de componentes vítreos dos depósitos piroclásticos sofreram zeolitização, sericitização, caolinização e silicificação. Os registros atravessados por poços perfurados pela Petrobras, tanto na porção marítima como terrestre, atestam a expressiva atividade vulcânica explosiva na área. As características do vulcanismo sugerem, como uma das causas principais, reativações de zonas de fraqueza associadas a tectônica de placas, com processos de fusão em baixas profundidades através de condutos e formação de caldeiras, que propiciaram o extravasamento.

A descoberta de um vulcanismo explosivo cenozóico de grandes dimensões acarreta uma redefinição da estratigrafia da Bacia do Espírito Santo.

Os campos de esforços associados à evolução tectono-sedimentar da bacia podem ser inferidos através de eventos vulcânico-magmáticos diacrônicos. A integração de dados geofísicos, de subsuperfície, cartográficos e petrográficos com dados de superfície revelam boa correlação tectono-estrutural.

Faz-se necessária uma extensa caracterização das idades dos corpos ignimbríticos rasos, realizando uma correlação espacial e geocronológica com outros eventos vulcânicos explosivos, próximos a área estudada, citados na literatura.

agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras, representada pelo gerente geral da Unidade de Negócios do Espírito Santo, Márcio Felix Carvalho Bezerra, e pelo gerente do Ativo de Exploração, Fernando Taboada Fontes; aos engenheiros Manoel Peluzzo Nunes,

Marcelo Lopes de Oliveira (*in memorian*) e aos técnicos em Geologia, José Roberto de Oliveira, Geraldo Bosco de Carvalho e Jânio Lopes Gonçalves, pelas discussões técnicas.

Ao Professor Doutor Cláudio Limeira Mello e sua equipe da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pela valiosa contribuição científica. Os autores são gratos também aos geólogos Rodrigo Soares e Giannis Hans Petrakis pelas discussões científicas e tratamento de imagens microscópicas pelo *software* Wilbur 1.0A.

referências bibliográficas

ALVES, E. C.; MAIA, M.; SICHEL, S. E. Zona de Fratura Vitória-Trindade no Atlântico Sudeste e Suas Implicações Tectônicas e Magmáticas com o Bordo Continental Sudeste. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais do...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 325-332.

ARAI, M. Evidências palinológicas de vulcanismo incendiário no Cretáceo Superior das bacias do sudeste brasileiro. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais do...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. 1 CD-ROM.

ARENA, M.; VALENTE, S.; VALLADARES, C.; DUARTE, B.; HEILBRON, M.; CORVAL, A.; SZATMARI, P. Petrologia da sucessão magmática do Arquipélago de Abrolhos. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. 1 CD-ROM.

ASMUS, H. E.; GOMES, J. B. C.; PEREIRA, A. C. B. Integração geológica regional da Bacia do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais do..** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. v. 3, p. 235-252.

BRAUN, O. P. G. Algumas considerações geotectônicas sobre eventos vulcânicos mesozóico-cenozóicos no Brasil. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais do...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005.

- CAS, R. A. F.; WRIGHT, J. V. **Volcanic Successions: Modern and Ancient: A Geological Approach to Processes, Products and Successions**. London: Unwin Hyman, 1987. 528 p.
- CUNHA, F. M. B. Influência das linhas estruturais do Pré-Cambriano no arcabouço das bacias costeiras do leste brasileiro entre os estados de Alagoas e Espírito Santo. In: SEMINÁRIO DE TECTÔNICA DA PETROBRAS, 1987, Rio de Janeiro. **[Trabalhos apresentados no..]**. Rio de Janeiro: Petrobras. Cenpes. P. 459-487.
- DEL REY, A. C.; ZEMBRUSCKI S. G. Estudo Hidrogeotérmico das Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1/4, p. 25-38, 1991.
- FERRARI, A. L.; RICCOMINI C. Campo de esforços plio-pleistocênico na Ilha de Trindade (Oceano Atlântico Sul, Brasil) e sua relação com a tectônica regional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 2, p.195-202, 1999.
- FISHER, R. V.; SCHMINKE, H-U. **Pyroclastic Rocks**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 472 p.
- HAMZA, V. M.; CARDOSO, R. A.; GOMES, A. J. L. Gradiente e fluxo geotérmico na região sudeste: indícios de calor residual do magmatismo alcalino e implicações para a maturação térmica de sedimentos na Plataforma Continental. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais do..** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005.
- HIDA, T.; ISHIYAMA, D.; MIZUTA, T.; ISHIKAWA, Y. Geologic characteristics and formation environments of the Yano-Shokozan Pyrophyllite deposit, Hiroshima prefecture, Japan : Volcanic successions and hydrothermal alterations processes. **Nendo Kagaku = Journal of the Clay Science Society of Japan**, Hiroshima, v. 36, n. 2, p. 62-72, 1996.
- HONGU, H.; KITAGAWA, R.; NISHIDO, H. Modes of occurrence and K-Ar ages of "roseki" deposits in Mitsuishi Deistrict, Okayama Prefecture. **Nendo Kagaku = Journal of the Clay Science Society of Japan**, Hiroshima, v. 40, n. 1, p. 46-53, 2000.
- HUTTON, D. H. W. A Tectonic model for the emplacement of the Main Donegal Granite, NW Ireland. **Journal of the Geological Society**, London, v. 139, p. 615-631, 1982.
- KLEIN, V. C. O Havaí é aqui? **Revista Ciência Hoje**, v. 26 n. 153, p. 65-68, 1999.
- MELLO, C. L.; RODRIGUES, H. B.; HATUSHIKA R. S. Método para análises modais semi-automáticas de fenocristais grandes com o auxílio da técnica da especificação quantitativa de cores. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10., 2005, Guarapari, ES. **Anais do...** São Paulo: ABEQUA, 2005. p. 25.
- MOHRIAK W. U.; BARROS, A. Z. N. **Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil**: O gráben de Barra de São João na plataforma de Cabo Frio, R.J. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 187-196, 1990.
- MOHRIAK W. U. Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 133-142, 2006.
- MOTOKI, A. Cretaceous volcanic vents in southeast part of Mt. Rokko, western Honshu, Japan. **Bull. Volcanological Society of Japan, Second Series**, Tokyo, v. 24, n. 2, p. 55-72, 1979. Original em japonês.
- MOTOKI, A.; PETRAKIS, G. H.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R. Método para análises modais semi-automáticas de fenocristais grandes com o auxílio da técnica da especificação quantitativa de cores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006a. p. 257.
- MOTOKI, A.; PETRAKIS, G. H.; SOARES, R.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R. New method of semi-automatic modal analyses for large phenocrysts of porphyritic volcanic and granitic rocks with help of quantitative digital colour specification technique. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, p. 13-20, 2007.
- MOTOKI, A.; NETO, A. M.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R.; SOARES, R.; LOBATO, M. História de denudação regional e profundidade de posicionamento geológico das rochas vulcânicas de Nova Iguaçu, maciço Mendanha, RJ: constituintes de um vulcão ou corpos subvulcânicos? In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006c. p. 136.

MOTOKI, A.; NOVAIS, L. C. C.; SICHEL, S. E.; NEVES, J. L. P.; AIRES, J. R. Rocha piroclástica félsica originada de erupção subaquática na bacia sedimentar do Espírito Santo: uma associação com o modelo tectono-sedimentar. **Revista de Geociências da UNESP**, São Paulo, v. 26 n. 2, p. 151-160, 2007.

MOTOKI, A.; SICHEL, S. E.; AIRES, J. R.; SOARES, R.; LOBATO M. Feição similar à disjunção colunar horizontal do corpo traquítico de rochas vulcânicas de Nova Iguaçu, RJ, e a consideração sobre sua gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006, Aracaju. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006d. p. 136.

MOTOKI, A.; NETO, A. M.; SOARES, R. Profundidade de posicionamento geológico das rochas vulcânicas de Nova Iguaçu, RJ, com base na geomorfologia regional e traços de fissão para apatita. **Revista Escola de Minas**, 2006e. No prelo.

MOTOKI, A., SICHEL, S., FONCECA, L.G., SILVA, M.S., ALMEIDA, F.S.S., CORRALES, F. Relação entre as texturas de rochas vulcânicas e estruturas de corpos vulcânicos e sub-vulcânicos: exemplos do Brasil, Argentina e Chile. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. **Anais do..** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2005. p. 387-392.

MOTOKI, A.; SICHEL, S. E. Avaliação de aspectos texturais e estruturais de corpos vulcânicos e subvulcânicos e sua relação com o ambiente de cristalização, com base em exemplos do Brasil, Argentina e Chile. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 13-23, 2006.

MOTOKI, A.; ADRIANO, L.; MELO, D.P. FREITAS, A. Edifícios vulcânicos e corpos subvulcânicos, de acordo com os níveis de denudação: exemplos do Brasil e da Argentina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. **Anais..** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2004. 1 CD-ROM.

NOVAIS, L. C. C.; TEIXEIRA, L. B.; NEVES, M. T.; RODARTE, J. B. M.; ALMEIDA, J. C. H.; VALERIANO, C. M. Novas ocorrências de diques de diabásio na faixa Colatina - ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de Campos e do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 191-194, 2004.

NOVAIS, L. C. C. **Lineamentos Transversais nas Porções Centro e Norte da Bacia do Espírito Santo e da Faixa Proterozóica Adjacente:** Influência na sedimentação e compartimentação. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005.

NOVAIS, L. C. C.; SUGIO, A.; BRUNO, G. L. G.; BRANDÃO, J. R.; JÚNIOR, J. A.; NEVES, M. T.; RODRIGUES, V. D. Arco estrutural de São Mateus: Vulcanismo terciário e reservatórios fraturados associados na porção norte da Bacia do Espírito Santo. In: SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, 6., 2007, Vitória. **Resumos:** aprofundando as fronteiras exploratórias. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007.

OUREIRO, S. G. Magmatismo e sedimentação de uma área na Plataforma Continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil, no intervalo Cretáceo Superior- Terciário **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 95-112, maio 2006.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; ALKMIM, F. F.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U.; CASTAÑEDA, C. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. **Geonomos:** Revista de Geociências, Minas Gerais, v. 15, n. 1. p. 1-16, jan. 2007.

PINHO, M. A. S. B.; LIMA, E. F.; FETTER, A.; VAN SCHMUS, W. R.; CHEMALE JÚNIOR, F. Caracterização petrográfica e dados geocronológicos preliminares das rochas vulcânicas da Formação Iriri, porção centro-sul do Cráton Amazônico-Aripuanã- Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2001.

PIRES, A. C. B. Identificação geofísica de áreas de alteração hidrotermal, Crixás-Guarinos, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26 n. 3, p. 301-306, 1998.

RAPOSO, F. O.; PAES, V. J. C.; SGARBI, G. N. C. Rochas piroclásticas ácidas, fanerozóicas do Médio-Jequitinhonha, Nordeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. **Anais...** Parana: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. 1 CD-ROM.

RICCOMINI, C. **Tectonismos geradores e deformadores dos depósitos sedimentares pós Gondwânicos da porção centro-oriental do estado de São Paulo e áreas vizinhas.** 1995. 100 f. Tese (Livre-Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTANNA, L. G.; RICCOMINI, C. Cimentação hidrotermal em depósitos sedimentares paleogenicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil: Mineralogia e relações tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31 n. 2, p. 231-240, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SE.24 Rio Doce**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. 547 p. (Levantamentos de Recursos Naturais, 34).

SOBREIRA, J. F. F.; SZATMARI, P. New Ar-Ar ages for the Abrolhos volcanic rocks, East Brazilian margin. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **General proceedings**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. 1 CD-ROM.

SOBREIRA, J. F. F.; SZATMARI, P. Novas datações Ar-Ar para as rochas vulcânicas de Abrolhos e implicações para a evolução da Margem Continental Leste Brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 8., 2001, Recife. **Anais do...** [Recife]: Sociedade Brasileira de Geologia, [2001].

SOBREIRA, J. F. F.; SZATMARI, P. Datações Ar-Ar das rochas vulcânicas de Abrolhos e implicações para a evolução da margem continental leste brasileira no Terciário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 2002, João Pessoa, PB. **Anais do...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia. Nucleo do Nordeste, 2002. p. 395.

VIEIRA, R. A. B. **Análise estratigráfica e evolução paleogeográfica da seção neaptiana na porção sul da Plataforma de São Mateus, Bacia do Espírito Santo, Brasil**. 1998. 158 p. Dissertação. (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E.; BACELAR, L. A. R.; TAGLIARI, C. V.; BACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. **Bacias do Espírito Santo e Mucuri**. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 191-202.

WERNICK, E.; HÖRMANN, P. K.; ARTUR, A. C.; FERREIRA, C. J.; GALEMBECK, T. M. B.; GODO Y., A. M.; ANDRADE, F. R. D. Fases, impulsos e ciclos magmáticos em complexos granitóides associados com falhas transcorrentes, SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 3, p. 248-259, 1993.

bibliografia

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

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

ALVES, D. B. Sedimentação vulcanoclástica do Cretáceo Superior da Bacia de Campos, Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 149-154, nov. 2005/maio 2006.

CAS, R. A. F.; WRIGHT, J. V. Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. **Bulletin of Volcanology**, v. 53, n. 5, p. 357-380, 1991.

FRANCIS, P. **Volcanoes**. A Planetary Perspective. New York: Oxford University Press, 1993. 443 p.

HAIMSON, B. C. Deep in-situ stress measurements by hydrofracturing. **Tectonophysics**, v. 29, p. 41-47, 1975.

HUBBERT, M. K.; WILLIS, D. G. Mechanics of hydraulic fracturing. Transactions of the American Institute of Mining. **Metallurgical, and Petroleum Engineers**, v. 210, p. 153-164, 1957.

KARNIOLL, T. R.; MACHADO, R. Análise geométrica e cinemática de um segmento na região do baixo Rio Doce entre Aimorés (MG/ES) e Colatina (ES). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, n. 3, p. 373-382, 2004.

KOKELAAR, P.; BUSBY, C. Subaqueous explosive eruption and welding of pyroclastic deposits. **Science**, v. 257, p. 196-201, 1992.

MOTOKI, A.; ÁVILA, C. A. Dyke-sill transitions of alkaline tabular rock bodies at Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, Brazil. CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1988, Belém. **Anais do...** Belém : Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 1, p. 294-308.

NAKAMURA, K. Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation Principle and proposal. **Journal of Volcanology and Geothermal Researches**, v. 2, p. 1-16, 1977.

NÊMETH, K.; MARTIN, U. **Practical Volcanology**. Budapest: Geological Institute of Hungary, 2007. 221 p.

NOVAIS, L. C. C. Recurrent tectonic reactivations in The Espírito Santo Basin, Brazil's South Atlantic Margin Association of Volcanism and Neotectonic. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 33., 2008, Oslo. **[Abstracts of the...]**. Trondheim: The International Union of Geological Sciences, 2008.

PÓKA, T.; ZELENKA, T.; SZAKÁCS, A.; PÉCSKAY, Z.; MÁRTON, E. Miocene acidic explosive volcanism in the Bükk Foreland, Hungary: Identifying eruptive sequences and searching for source locations. **Acta Geologica Hungarica**, v. 41, n. 4, p. 413-435, 1998.

RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da bacia Bauru no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 2, p. 153-162, 1997.

STIX, J. Subaqueous, intermediate to silicic-composition explosive volcanism: a review. **Earth Science Review**, v. 31, p. 21-53, 1991.

SOBREIRA, F. F. J.; FRANÇA, R. L. Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 143-147, nov. 2005 / maio 2006.

SVENSEN H.; JAMTVEIT B.; PLANKE S.; CHEVALLIER L. Structure and evolution of hydrothermal vent complexes in the Karoo Basin, South Africa. **Journal of the Geological Society**, London, v. 163, p. 671-682, 2006.

UI, T.; KONO, M.; HAMANO, Y.; MONGE, F.; AOTA, Y. Reconstruction of a volcanic edifice using the dike swarm at Ocos, Peruvian Andes. **Bulletin of the Volcanological Society of Japan**, Serie 2, v. 29-4, p. 285-296, 1984.

ZELENKA, T.; BALOGH, K.; KOZÁK, M.; PÉCSKAY, Z.; RAVASZ, Cs.; ÚJFALUSSY, A.; BALÁZS, E.; KISS, J.; NEMESI, L.; PÜSPÖKI, Z.; SZÉKY-FUX, V.; Buried Neogene volcanic structures in Hungary. **Acta Geologica Hungarica**, v. 47, n. 2-3, p. 177-219, Dec. 2004.

webgrafia

ARENA, M.; VALENTE, S.; VALLADARES, C.; DUARTE, B.; HEILBRON, M.; CORVAL, A.; SZATMARI, P. Petrologia da Sucessão Magmática do Arquipélago de Abrolhos. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais do..** Disponível em: < <http://jasper.rc.unesp.br/vulcanismo/trabalhos/arena%20et%20al.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

MARQUES, L. S. Tectônica de placas, heterogeneidades do manto e a origem da província magmática do Paraná. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu, PR. **Anais do..** Disponível em: < <http://jasper.rc.unesp.br/vulcanismo/palestras/palestramarques.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2008.

MIRANDA, E. E.; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil visto do espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br>>. Acesso em: 10 de setembro de 2006.

expanded abstract

Espírito Santo Basin, previously considered as a passive basin, strictly distensive registers, however a very active, ruptile background with compressive features since the rift opening, associated to repeated tectonic activities and effusive and explosive volcanic events which followed the sedimentary fill.

Several authors have identified effusive and intrusive type volcanisms in the Lower Cretaceous (120 Ma.) belonging to Cabiúnas Formation. Other more recent events between 53 to 40 Ma. registers at Fm. Abrolhos were crossed by wells and also reported in the literature, both in the offshore and in the onshore portion.

The introduction of Cretaceous-Tertiary volcanic body in Espírito Santo Basin, in general, was controlled by transcurrent shear zones, with predominant directions N-10-30-W, referred to, by several authors, as Colatina Strip. These directions, with variations NW-SE, occur throughout the basin and controlled not only the placement of Meso-Neozoic volcanic bodies, but also igneous rock, from the neo-proterozoic age associated to the break down of Brazilian granitogenesis. The directions above correspond to the transfer zones in the rift phase, diachronically reactivated, being responsible both for the compartmentation of the basin and for the migration of hydrocarbons, including by means of the drainage network layout (Neotectonism).

Exposures of emerging acid rocks, registers of high power gravitational pyroclastic flow, were recently discovered in the furthest north of the basin also according to the directions above. These are acid ignimbrite rocks, with compounds ranging from dacites to rhyodacites, Cretaceous-Tertiary presumable ages. They are associated to a transcurrent zone which is an integral part to a tectonic feature names Arco de São Mateus (ASM) interpreted as arising from an accommodation model of the movement of the plates and the uplifting imposed by a mantelic rise.

Although there were not found eruptive centers due to an intense erosion effect it is admitted the volcanism as being associated to deep pipes and boilers, both aligned according to crustal discontinuity.