

J. PINTO PEIXOTO * F. R. DIAS AGUDO * J. TIAGO DE OLIVEIRA * J. CAMPOS FERREIRA
MARGARITA RAMALHO * A. RIBEIRO GOMES * ARMANDO POLICARPO * F. DUARTE SANTOS
J. GOMES FERREIRA * L. A. MENDES VICTOR * MANUEL LARANJEIRA * M. GOMES GUERREIRO
J. CÂNDIDO DE OLIVEIRA * ROBALO CORDEIRO * J. CELESTINO DA COSTA * A. CASTRO CALDAS
BARAHONA FERNANDES * ARANTES E OLIVEIRA * A. F. CARVALHO QUINTELA * A. BARBOSA
DE ABREU * GOUVÊA PORTELA * L. BRAGA CAMPOS * J. J. DELGADO DOMINGOS * A. F.
OLIVEIRA FALCÃO * DOMINGOS MOURA * H. CAMPOS NETO * A. LARCHER BRINCA * J. F.
QUINTINO ROGADO * M. AMARAL FORTES * M. BAPTISTA BRAZ * M. PEREIRA COUTINHO
FERNANDO ESTÁCIO * P. O. PEREIRA SANTOS * A. A. MONTEIRO ALVES * BRITALDO RODRI-
GUES * L. AIRES DE BARROS * MATOS ALVES * M. PORTUGAL FERREIRA * ANTÓNIO RIBEIRO
FRANCISCO GONÇALVES * TELLES ANTUNES * LUÍS ARCHER * J. MONTEZUMA DE CARVALHO
J. FIRMINO MESQUITA * ABÍLIO FERNANDES * J. MALATO-BELIZ * ARSÉNIO PATO DE
CARVALHO * A. XAVIER DA CUNHA * ALLEN DEBUS * J. SIMÕES REDINHA * SEBASTIÃO
J. FORMOSINHO * A. M. A. ROCHA GONSALVES * L. ALMEIDA ALVES * OLIVEIRA CABRAL
FRAÚSTO DA SILVA * JOSÉ V. PINA MARTINS * AMÉRICO COSTA RAMALHO * FERNANDO
REBELO * C. ALBERTO MEDEIROS * ILÍDIO DO AMARAL * MANUEL GARRIDO ARAÚJO
MANUEL VIEGAS GUERREIRO * A. SIMÕES LOPES * A. SOUSA FRANCO * ONÉSIMO T. ALMEIDA
JUSTINO MENDES DE ALMEIDA * FRANCISCO GAMA CAEIRO * RÓMULO DE CARVALHO

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL NO SÉC. XX

II VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

A GEOQUÍMICA DOS VULCANITOS
DO CONTINENTE PORTUGUÊS
E DAS ILHAS ATLÂNTICAS DOS AÇORES, MADEIRA,
SELVAGENS, CABO VERDE E S. TOMÉ E PRÍNCIPE:
SÍNTESE E PERSPECTIVAS

BRITALDO RODRIGUES *
L. AIRES-BARROS **

Summary

Geochemistry, a science which emerged in Portugal well into the twentieth century, is closely linked to the petrographic study of igneous rocks. The first petrographic and petrological studies with a sound micropetrographic foundation are found in the work of Luís Pereira de Sousa, Vicente Sousa Brandão and Alfredo Bensaúde, and subsequently in the work of researchers who made petrography and petrology a generally accepted area in the thirties and forties, particularly important being Carlos Torre de Assunção, José Brak-Lamy, A. Pinto Coelho, Amílcar de Jesus, J. M. Cotelos Neiva, M. Montenegro de Andrade and others.

These authors, very often with a significant contribution from geoscientists such as Carrington da Costa, Bacelar Bebianno, Carlos Teixeira, Décio-Thadeu, etc., have defined the general guidelines of the key questions relating to igneous petrology, which they sought to approach with the resources available to them and according to contemporary scientific norms.

* Membro efectivo da Academia das Ciências de Lisboa e Professor Catedrático da FCL (Universidade de Lisboa).

** Professor Catedrático do IST (Universidade Técnica de Lisboa).

This work will follow the general lines of the principal geochemical problems concerning lava rocks (and related dykes) studied by national researchers, and will be structured as follows:

1. *Lavas (and basaltic and doleritic dykes) of the Portuguese mainland*
 - 1.1. The Lisbon-Mafra volcanic complex
 - 1.2. The lavas and dykes of the Algarve
 - 1.3. The doleritic dykes of the typhonic valleys
 - 1.4. The intrusive dykes of the Hesperian Massif
 - 1.5. The great doleritic dykes of the Alentejo
 - 1.6. The lamprophyres
2. *Lavas of the Atlantic islands*
 - 2.1. The Azores lavas
 - 2.2. The Madeira lavas
 - 2.3. The lavas of the Selvagens islands
 - 2.4. The lavas of Cape Verde
 - 2.5. The lavas of S. Tomé e Príncipe

Mere enumeration of lava rocks as a whole studied by national researchers shows a vast field this is, and it will therefore only be possible to study the extensive range of material available in very summary form.

RESUMO

A Geoquímica constitui uma Ciência que nasceu, entre nós, em pleno século XX, intimamente ligada aos estudos petrográficos de rochas ígneas. Com efeito, os primeiros estudos petrográficos e petrológicos com base e com seguro suporte micropetrográfico entroncam, entre nós, nos trabalhos de Luís Pereira de Sousa, Vicente Sousa Brandão, Alfredo Bensaúde e posteriormente na pleiade de investigadores que generalizaram a petrografia e a petrologia nas décadas de 30 e 40 e de que citaremos como paradigmáticos Carlos Torre de Assunção, José Brak-Lamy, Amílcar de Jesus, J. M. Coteló Neiva, M. Montenegro de Almeida e outros.

Estes autores, muitas vezes com o contributo importante de geocientistas como Carrington da Costa, Bacelar Bebiano, Carlos Teixeira, Décio Tradeu, etc.; gisam as linhas gerais das questões nodais da petrologia ígnea que procuram abordar com as possibilidades de que dispunham e segundo os enfoques científicos vigentes.

Seguindo as linhas gerais dos principais problemas geoquímicos das rochas lávicas (e filoneanas correlacionadas) estudadas por investigadores nacionais esta exposição terá o esquema que se apresenta:

1. *As lavas (e filões basálticos e doleríticos) do continente português*
 - 1.1. O complexo vulcânico de Lisboa-Mafra
 - 1.2. As lavas e filões da orla Algarvia
 - 1.3. Os filões doleríticos dos vales tifónicos
 - 1.4. Os filões intrusivos no Maciço Hespérico
 - 1.5. O grande filão dolerítico do Alentejo
 - 1.6. Os lamprófiros.
2. *As lavas das ilhas atlânticas*
 - 2.1. As lavas açoreanas
 - 2.2. As lavas madeirenses
 - 2.3. As lavas das ilhas Selvagens
 - 2.4. As lavas cabo-verdeanas
 - 2.5. As lavas das ilhas de S. Tomé e Príncipe

A simples enumeração do conjunto de rochas lávicas sobre as quais se têm debruçado os investigadores nacionais revela como é vasto o domínio, pelo que apenas de modo sucinto poderemos percorrer todo o largo conjunto de estudos disponíveis.

Começaremos pelas lavas e filões basálticos e doleríticos do continente português.

1. AS LAVAS (E FILÕES BASÁLTICOS E DOLERÍTICOS) DO CONTINENTE PORTUGUÊS

1.1. O Complexo vulcânico de Lisboa-Mafra

Na região de Lisboa, estendendo-se para norte e oeste, espalha-se um espesso complexo vulcânico constituído por vários mantos lávicos essencialmente basálticos intercalados por leitos piroclásticos e níveis sedimentares. Este complexo é nitidamente pós-Cenomaniano superior e ante-Burdigaliano marinho. Quanto às rochas ocorrentes, elas são

fundamentalmente basaltos, basanitóides, luscladitos, mafraítos e rede densa de filões basalto-doleríticos.

Deve-se a Assunção (1936) o primeiro estudo petrográfico e geoquímico, salientando a ordem de cristalização da geração fenocristalina e o carácter alcalino-subsaturado de alguns diferenciados. Aires-Barros (1959) retomando os estudos anteriores (Sousa, 1931; Assunção, 1936; Jesus & Zbyszewsky, 1952), tenta apresentar uma visão de síntese com base no uso dos diagramas petroquímicos nigglianos.

O estudo deste Complexo é retomado posteriormente pelos investigadores da Faculdade de Ciências de Lisboa (Matos Alves, Britaldo Rodrigues, A. Serralheiro e J. Munhá, entre outros), que já nos anos 80, publicam trabalhos diversos (Matos Alves *et al.*, 1980; Rodrigues, *et al.*, 1981; Rodrigues *et al.*, 1982) sobre a origem e evolução dos magmas assim como desenvolvem alguns ensaios de orientação para a correlação geoquímica de tufos vulcânicos. O tema é desenvolvido, também, em dissertação de doutoramento de Palácios (1985) e, posteriormente, por Palácios *et al.* (1988) sendo possível, hoje, a formulação de um modelo para a origem e evolução magmática assim como para a constituição do manto superior que, por fusão parcial, gerou a magma parental.

1.2. As lavas e os filões da orla algarvia

A orla mesocenozóica algarvia, principalmente na sua parte ocidental, é percorrida por densa e variada rede filoniana. Esta rede filoniana e pequenos conjuntos de rochas extrusivas foram inicialmente estudadas por Sousa (1917, 1922, 1930 e 1931); posteriormente Assunção (1938-1940) retomou o tema tendo-se dedicado à interpretação de resultados obtidos por aquele autor. Mais recentemente, foi publicado novo trabalho petrográfico e geoquímico por Coelho (1976) aumentando a informação sobre dados analíticos.

As rochas ocorrentes como intrusões na orla sedimentar algarvia, segundo Sousa (1917) e Rocha (1971), atravessam formações de diversas idades, desde o Triássico (Keuper) até ao Miocénico (Helveciano). Os tipos petrográficos representados nestas formações ígneas são rochas basálticas e ultrabásicas. Abundam os filões (diques e soleiras) e aparecem pequenos maciços e mantos lávicos de extensão reduzida. As rochas melhor representadas são: limburgitos, basamitos, basanitóides ancaramitos, vários tipos de basaltos e doleritos.

Com base nos resultados analíticos contidos nos trabalhos de Pereira de Sousa, e tal como atrás foi dito, Assunção (1938-1940) tece considerações de índole geoquímica. Assim, ao fazer a representação diagramática óxidos restantes *versus* SiO₂ verifica «intensa dispersão de pontos» (*op. cit.*, p. 52), pelo que admite a separação de cristais densos a partir do magma original. Para confirmar tal hipótese, faz a comparação entre a olivina normativa e a modal. Para o excesso, por vezes bem amplo, da olivina modal em relação à normativa, admite duas interpretações (*op. cit.*, pp. 54 e 55):

- a) «a olivina separou-se do líquido magmático em quantidade superior à que corresponderia à sua proporção estequiométrica e desse facto resultou uma concentração de sílica no líquido residual;
- b) a pasta não revela sílica em excesso (...) a olivina em excesso deve indicar uma acumulação de cristais, separados durante as primeiras fases da consolidação magmática e a composição da rocha não resultou da simples consolidação dum líquido original».

Coelho (1976) ao apresentar 40 novas análises químicas sobre estas rochas evidenciou que grande parte das rochas analisadas do barlavento algarvio possuem concentração de sílica, perto dos 43% havendo, todavia, rochas basálticas em que aquele valor se aproxima dos 50%. A concentração dos álcalis é sempre superior aos 3% podendo atingir os 7% em algumas rochas, dominando o sódio sobre o potássio em geral na proporção de 2:1. O óxido de titânio apresenta valores quase sempre superiores a 3%, podendo ultrapassar os 5%.

Aires-Barros (1979) em trabalho de síntese sobre a actividade ígnea pós-paleozóica do continente português conclui por certa permanência composicional, quer nas rochas do Complexo basáltico de Lisboa-Mafra, quer nos «filões diapíricos» do mesozóico ocidental, quer nos filões básicos e pequenos derrames algarvios.

1.3. Os filões doleríticos dos vales tifónicos

Na passagem do Jurássico superior ao Cretácico inferior há actividade ígnea ligada à tectónica diapírica e que se manifesta por domos e filões doleríticos que ocorrem nas áreas tifónicas do Mesozóico da Bacia Lusitana.

Devem-se a Choffat (1882) e MacPherson (1882) os primeiros estudos sobre estas rochas.

Assunção & Brak-Lamy (1951) estudam os afloramentos de Vermoil (Pombal), Alqueidão da Serra e Murteira (Porto de Mós) e de Vale de Porcos (Alcanede). Concluem estes autores pela analogia entre as rochas estudadas, entre elas, e as do Complexo basáltico de Lisboa-Mafra. Acresce ainda que correlacionaram as rochas estudadas com o basalto (dolerito olivínico) da Nazaré que, por seu lado é rocha afim dos basaltos doleríticos da região de Lisboa.

Zbyszewski e Andrade (1956) estudam vários afloramentos do vale tifónico das Caldas da Rainha, para, em 1958, Montenegro de Andrade continuar este trabalho tentando a comparação petrológica entre as rochas filonianas doleríticas ocorrentes no vale tectónico de Caldas da Rainha-Óbidos (filão das Gaeiras) e as presentes no vale tectónico de Rio Maior. Afirma este autor que se verifica notável concordância entre os valores das respectivas análises químicas. Segundo, ainda, o mesmo autor, como se sabe, essas manifestações eruptivas decorrem num largo intervalo de tempo desde o final do Jurássico até depois do Cenomaniano (dolerito da Nazaré), sendo muito provável que uma parte delas tenha sido contemporânea dos derramamentos basálticos da região Sintra-Mafra. Esta referência está em concordância com o já citado trabalho de síntese de Aires de Barros, publicado em 1979.

1.4. Os filões básicos intrusivos no Maciço Hespérico

São inúmeros os filões básicos que se encaixam nas formações do Maciço Hespérico, cortando indistintamente as rochas graníticas e as rochas xisto-grauváquicas.

Thadeu (1949) apresenta a hipótese de existência de duas emissões básicas distintas: uma seria antegranitos hercínicos; outra hercínica ou pós-hercínica. Os estudos de Cerveira (1951) depõem a favor de segunda emissão básica ser de idade pós-hercínica, estando relacionada «com as fases iniciais da tectónica alpina». Assunção e Brak-Lamy (1951) concluem ser os doleritos estudados por Cerveira «análogos às rochas doleríticas e básicas das orlas pós-paleozóicas do Maciço Antigo».

Mais tarde, Teixeira e Assunção (1958), estudam rochas gabróicas e doleríticas intrusivas nos granitos das Beiras e concluem que «as afinidades petrográficas e químicas das rochas gabróicas-doleríticas com

algumas rochas eruptivas das orlas mesocenozóicas pode levar a considerar a hipótese de serem contemporâneas».

Devem-se, contudo, a Portugal-Ferreira e Macedo (1977, 1979) estudos fundamentais para a datação das rochas filonianas básicas pós-paleozóicas. Em relação aos filões intrusivos da zona Centro-Ibérica atribuem-lhes idades no intervalo de 235 MA a 205 MA concluindo que a intrusão do magma parental basáltico-olivínico rico de potássio e voláteis foi controlado geotectonicamente por falhas transversais NNE-SSW. Salienta-se ainda a presença de magma toleítico, relacionado com lamprófiros de rumo ENE-WSW, à medida que se avança para o sector NW do Maciço Hespérico.

Se nos detivermos apenas sobre as rochas filonianas que mereceram estudo químico, verifica-se a existência de um grupo de doleritos (uns olivínicos, outros teralíticos), um grupo lamprófiros e um teralito analítico. Estas rochas, sempre alcalinas, por vezes com nefelina expressa, apresentam analogia petrológica com as rochas filonianas congêneres que cortam as formações sedimentares mesocenozóicas.

1.5. O grande filão dolerítico do Alentejo

O grande filão dolerítico do Alentejo, de direcção sensivelmente NE-SW, vertical, alonga-se desde o oceano a SW (um pouco a N de Aljezur) até para além da fronteira portuguesa (Campo Maior), pela Estremadura espanhola, numa extensão de mais de 500 km. Só no território nacional este importante filão tem cerca de 230 km de desenvolvimento quase ininterrupto. A sua possança, variável mas sempre importante, vai de 5 a 75 m, podendo, por vezes, ultrapassar os 125 m (Assunção e Perdigão, 1962).

Teixeira e Torquato (1975) com base nas datações absolutas feitas sobre amostras deste longo filão, de autoria de vários investigadores, concluem ser a idade da amostra proveniente da ribeira de Araya a única em que as determinações foram feitas a partir da plagioclase e, tendo este mineral as condições ideais para a datação das rochas doleríticas, o valor 220 ± 13 M.A. deve representar a idade mais provável do filão. Ou seja, este corpo filoniano ter-se-á formado no Trias médio e deverá estar ligado com a tectónica da abertura do Atlântico norte.

Assunção e Perdigão (1962) concluem serem minerais essenciais das rochas deste filão uma plagioclase do domínio labrador-bytownite assim como a pigeonite. Outra característica importante é a presença de mesos-

tase siliciosa «no geral abundante, ocorrendo sob a forma de um inter-crescimento micropegmatítico, substituído, em alguns casos, por resíduo inteiramente de quartzo». Procurando correlação minero-geoquímica com os filões das orlas mesocenozóicas, estes autores referem: «um carácter negativo digno de destaque é a ausência de olivina, mineral comum nos doleritos e basaltos da orla pós-paleozóica do Maciço Antigo, como os da região de Lisboa-Mafra. Também, em contraste com estas últimas rochas, os doleritos do grande alinhamento alentejano não possuem mesostase sódica (analcite), mas um resíduo silicioso». Sob o ponto de vista químico os autores citados referem «a percentagem relativamente baixa de dióxido de titânio, quando comparada com a das rochas da região de Lisboa-Mafra».

1.6. Os lamprófiros

Deve-se a Souza-Brandão (1907) um pormenorizado e hoje clássico estudo sobre a rocha lamprófirica que apelidou de espichelito. Desde então são inúmeros os estudos sobre lamprófiros no nosso país, devendo-se a Miranda *et al.* (1983-1985) um estudo de síntese que refere tinta e seis ocorrências com análises químicas completas.

Apresentam estes autores não só diagramas geoquímicos com base em elementos maiores como usam métodos geomatemáticos para salientar correlações e individualizar os domínios dos monchiquitos e fourchitos separando-os dos kersantitos e estes ainda dos vogesitos.

Com base na geoquímica dos elementos menores verificam os autores citados que no diagrama SiO_2 vs. Zr/TiO_2 os lamprófiros portugueses se concentram no domínio basáltico e que no diagrama SiO_2 vs. Nb/Y os minetos ocupam o domínio dos basaltos alcalinos, localizando-se os monchiquitos e os aiouintos no domínio dos basaltos e nefelinitos. Este facto é tanto mais relevante quanto a relação Nb/Y funciona com índice de alcanilidade. No triângulo Ti, Y, Zr os lamprófiros estudados acantonam-se próximo do vértice Zr .

De entre os trinta e seis lamprófiros que figuram no estudo de Miranda *et al.* (1983-1985) há dois provenientes de Pinhel. Acresce que da mesma região Portugal-Ferreira e Macedo (1977) estudam um lamprófiro a cuja biotite é atribuída a idade de $204 \pm \text{M.A.}$ No mesmo estudo estes autores calculam a idade do basalto filoniano de Menoita (Guarda) como sendo de $226 \pm \text{M.A.}$, concluindo que estas duas determinações confirmam a existência da actividade ígnea básica anterior

ao vulcanismo que se manifestou nas Orlas Mesozóicas. Recorde-se que as datações referidas se enquadram no intervalo de tempo triássico, marcado por lacuna estatigráfica no território português, que se considera corresponder à separação das placas Norte-Americana e Norte-Africana.

2. AS LAVAS DAS ILHAS ATLÂNTICAS

As lavas dos arquipélagos dos Açores, Madeira, Selvagens, Cabo Verde e ilhas de S. Tomé e Príncipe têm merecido estudos aprofundados envolvendo, por vezes, vastas e bem apetrechadas equipas de cientistas nacionais e estrangeiros.

Faz-se breve exposição sobre os principais trabalhos realizados.

2.1. As lavas açorianas¹

As primeiras referências aos aspectos geológicos do arquipélago dos Açores datam do século XVI. Entre outros, Gaspar Frutuoso destacou-se pelas importantes descrições sobre os episódios históricos do vulcanismo, a classificação das rochas e mesmo de trabalhos de petrologia experimental. Na verdade, Canto e Castro (1981), cita a seguinte passagem de Gaspar Frutuoso: sujeitando obsidiana à acção do fogo obtém-se, por arrefecimento, pedra pomes. Assim «o estado mais ou menos cristalino de uma rocha vulcânica depende do processo do seu resfriamento», sendo os basaltos «um produto de fusão ígnea de vários minerais».

Ainda, no século XIX há que citar trabalhos de Webster (1821), Albuquerque (1826), Hartung (1860), Mügge (1883), Ossan (1888), Lacroix (1893), Fouqué (1883) e Canto e Castro (1888).

No presente século, e sem esquecer os notáveis trabalhos descritivos de José Agostinho, foi necessário aguardar pelos anos 50 para se ingressar definitivamente no estudo sistemático das rochas dos Açores. Para tal, contribuíram decisivamente os levantamentos geológicos de Georges Zbyszewski e, naturalmente, a célebre erupção dos Capelinhos, no Faial (1957-1958).

Não obstante as múltiplas citações de Zbyszewski a trabalhos geológicos e petrológicos realizados por Berthois (1953), Castelo Branco *et al.*

¹ De colaboração com J.L. Gaspar e G. Queiroz.

(1957) e Jérémine (1957) deve reconhecer-se que se deve a Assunção (1961) um importante trabalho sobre a petrologia da ilha de S. Miguel.

Neste trabalho, Torre de Assunção, complementando as observações de terreno de Zbyszewski, apresentou a descrição petrográfica de diversas lavas e rochas filonianas, estudou o seu quimismo e procurou reconstituir o que denominou por «marcha da diferenciação magmática em alguns dos centros eruptivos e no conjunto da ilha».

Torre de Assunção identificou, neste trabalho, a existência de basaltos (s. s.), ankaramitos, basanitoides e tipos afins, andesitos, augíticos e peridotíticos, latitos e traquitos calco-alcálicos e hiperálcálicos. No que se refere ao «Grupo basáltico» considerou a existência dos subgrupos «basalto-ankaramítico» e «basanitóidico», correlacionando-os com um mesmo «magma ancestral», admitindo que «a marcada oposição que entre eles existe resulta de processos muito acentuados de diferenciação magmática, em particular a separação gravítica e o fluxo de componentes voláteis». As rochas andesíticas foram consideradas como resultado da diferenciação local de basaltos ou como grupo dominante de determinadas fases eruptivas. Quanto aos termos mais ácidos vincou o carácter predominantemente alcalino das rochas traquíticas, salientando a inexistência de fonólitos e rochas afins.

A utilização do termo andesito foi questionada, posteriormente, pelo próprio Assunção e Canilho (1970), no decorrer de um estudo comparativo de petrografia de ilhas atlânticas. Neste trabalho, os referidos autores admitem ainda, porém, que paralelamente ao «curso dominante da série alcalina, nos Açores, exista um outro de tendência tholeiítica».

O problema dos designados «andesitos oceânicos» dos Açores voltou a ser tema de trabalho (Assunção *et al.*, 1974), em que se sublinha que «o curso geral de diferenciação magmática é alcalino». Referindo-se a certas «lavas intermédias» os autores referem «as lavas intermédias, classicamente consideradas como andesitos de diferentes tipos são, na realidade, hawaítos, tristanitos e mugearitos».

Para além das citadas publicações, Canilho (1969-1970) estudou a composição química e isotópica de um nódulo olivínico xenolítico num basalto ankaramítico da ilha do Faial, atribuindo-lhe origem mantélica.

Na presente década, merece particular destaque a criação do Centro de Vulcanologia do INIC, que viu aprovada, sob proposta dos membros da sua actual direcção, a criação da Rede Europeia de Vulcanologia da Fundação Europeia da Ciência. Aquele Centro é, assim, um nó da referida rede.

O Centro de Vulcanologia do INIC vem levando a cabo o levantamento vulcanológico dos Açores, editando mapas à escala 1/15.000. A revisão das diferentes unidades e subunidades geológicas, segundo novos critérios vulcanoestratigráficos, constitui factor de inegável importância para o estudo geoquímico do arquipélago. Actualmente, encontra-se publicada a Carta Vulcanológica da ilha de Santa Maria por Serralheiro, Forjaz, Matos Alves e Rodrigues (1987) aguardando-se o final da impressão da Carta Vulcanológica do Faial elaborada pelos mesmos autores. Na ilha de S. Miguel decorrem, por seu turno, os trabalhos de campo para o levantamento geológico do Maciço das Sete Cidades por Gabriela Queiroz, João Luís Gaspar e Victor Forjaz, sendo de salientar a recente Carta Vulcanológica de S. Miguel elaborada por Victor Forjaz e, actualmente, em impressão.

Os trabalhos de campo relativos à elaboração da Carta Vulcanológica de Santa Maria permitiram a Rodrigues, Matos-Alves, Serralheiro e Forjaz (1985) elaborar uma hipótese preliminar sobre a evolução geoquímica do vulcanismo naquela ilha. Para estes autores, «pode admitir-se que, associadamente à actividade tectónica relacionada com a «zona leste de fractura dos Açores» (para Zbyszewski erradamente interpretada como ante-Vindoboniana) se terá gerado magma que, por acção de um «penacho convectivo» e com reduzida diferenciação, foi ascendendo à superfície originando as rochas do Complexo dos Anjos. Assim, a evolução destas rochas foi globalmente mais condicionada pelo grau progressivo de fusão da fonte mantélica do que por factores de cristalização.

Os Complexos do Facho e Pico Alto resultaram da actividade tectónica, admitida por Zbyszewski como Pós-Vindoboniana, associada à «zona de fractura dos Açores». Neste caso, os magmas geraram-se por fusão incremental, da mesma zona do manto que originou o Complexo dos Anjos. As rochas de cada um dos complexos ditos «Pós-Vindobonianos» resultaram da extrusão de líquidos que evoluíram por processos de cristalização em câmaras magmáticas pouco profundas.

Em estudo preliminar sobre a evolução geoquímica da ilha de S. Miguel, Rodrigues, Forjaz e Gaspar (trabalho em impressão) sublinham o carácter alcalino das rochas analisadas e inserem a respectiva ocorrência no domínio intraplaca. Admitem que a fonte mantélica, comum para os diferentes magmas gerados, apresenta a composição de lherzolito granatífero e consideram que com excepção do Complexo dos Picos «os magmas ocuparam câmaras magmáticas onde foi possível

verificar-se uma evolução relativamente lenta que permitiu a individualização de líquidos de natureza traquítica».

A existência de câmaras magmáticas sob os principais estratovulcões de S. Miguel (Furnas, Fogo e Sete Cidades) é confirmada com base no estudo de anomalias das intensidades sísmicas, à semelhança do efectuado por Machado (1972). Idêntica conclusão foi apresentada por Machado (1954) para o sistema Pico-Faial-S. Jorge.

A quantidade e dispersão dos elementos existentes sobre o Arquipélago dos Açores levou Gaspar e Queiroz (1987) a conceber um sistema computadorizado para o armazenamento e processamento de dados petrológicos e geoquímicos. Neste contexto, aqueles autores desenvolveram a designada Base de Dados das Rochas Ígneas dos Açores (BDRIA) que comporta, actualmente, informação qualitativa e quantitativa sobre cerca de 1.000 exemplares de todo o arquipélago que pode ser da maior utilidade para trabalhos futuros.

2.2. As lavas madeirenses

De acordo com o estudo de síntese de Portugal-Ferreira (1985) as rochas ígneas da ilha da Madeira distribuem-se por cinco séries vulcânicas, basálticas, hawaiiíticas e mugaríticas recortadas por inúmeros filões básicos.

Deve-se a Aires-Barros *et al.* (1974) um extenso estudo petrológico e geoquímico com base na dilatada amostragem de Zbyszewski, autor que realizou os trabalhos de campo que culminaram com a edição da carta geológica da Madeira (1975), na escala 1/50.000.

Na ilha da Madeira as lavas presentes compreendem desde termos basálticos (basaltos olivínicos, basanitos e mesmo ankaramitos), passando por hawaiiitos mugaríticos e benmoreitos, até traquitos.

Quanto à geoquímica das cinco séries vulcânicas, começaremos pela mais antiga, mio-pleiocénica ocorrente no Curral das Freiras, Serra de Água, Vale de S. Vicente, etc. ($\beta 1$). Trata-se de um complexo vulcânico eminentemente basáltico em que o diagrama QLM de Niggli evidencia o seu carácter ligeiramente hipossaturado e saturado com evolução magmática pouco pronunciada.

O segundo complexo $\beta 2$ (Complexo pós-miocénico com intercalações piroclásticas da Ribeira da Janela, Porto Moniz, Ponta do Pargo, etc.) é bastante mais diversificado do que o anterior. Com efeito, as lavas

vão desde termos basálticos, passando pelos hawaiiitos até aos mugaritos. Mantém-se o carácter hipossaturado do quimismo destas lavas.

Os Complexos vulcânicos pós-miocénicos de Paúl da Serra, Achada da Pinta ($\beta 3$) exibem lavas com dilatado espectro de diferenciação, mostrando os termos mais evoluídos enriquecimento de álcalis. É estreito o parentesco entre as lavas dos complexos $\beta 2$ e $\beta 3$.

O Complexo $\beta 4$ tem diversificação mais discreta do que os dois anteriores, com diferenciação mitigada bem ilustrada nos diagramas QLM e de Kuno. As suas semelhanças são mais nítidas com as lavas do Complexo $\beta 1$.

As lavas recentes de Porto Moniz e dos Vales de S. Vicente e do Seixal constituem o Complexo $\beta 5$. No diagrama QLM é a primeira vez tocada a linha de saturação sem contudo ser ultrapassada. Só na rede filoniana se vão encontrar rochas que ultrapassam francamente a linha de saturação.

No Quadro I apresentam-se os valores máximos e mínimos de SiO_2 para as rochas dos cinco complexos mencionados e para os filões da densa rede filoniana que os corta.

QUADRO I

Complexo	(SiO_2) min	(SiO_2) máx
$\beta 1$	42.02	47.09
$\beta 2$	42.15	53.10
$\beta 3$	39.84	54.20
$\beta 4$	39.38	47.73
$\beta 5$	44.14	52.87
Filões	41.00	67.35

Em trabalho posterior Aires-Barros *et al.* (1979), a partir de determinações do Ni, Cu e Zn em vários tipos de lavas, bem como das relações $\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Fe}$ e do índice de diferenciação do Thornton-Tuttle, caracterizam o processo de fraccionamento do magma subcrustal, alcalino, gerador da sequência de lavas constituintes dos vários complexos da ilha da Madeira. Analisam e comentam, ainda, o empobrecimento

daquele magma em Ni, Cu e Zn no decurso do fraccionamento. A repartição do Ni revela-se um bom aferidor do grau de fraccionamento por separação precoce da olivina.

A ilha de Porto Santo é um complexo de estrutura vulcânica, maioritariamente submarina, muito erodida (Portugal-Ferreira, 1985). Deste mesmo trabalho de síntese da autoria de quem desde há anos se dedica ao estudo da geologia, petrologia e geoquímica desta ilha transcrevemos: «Entre os 18 e os 13,5 M.A., a ilha cresceu como vulcão-escudo, submarino, com escoadas de basalto, hawaiiitos, hialoclastitos, palagonitos e lenticulas de cognlomerados e tufitos; poderá admitir-se que tenha existido uma vasta cratera a norte da ilha actual — seria a fonte dos palagonitos e dos domos e escoadas de riolitos. As construções para-recifais podem ter-se repetido, apontando as mais recentes para uma emergência há cerca de 13,5 M.A. O vulcanismo subaéreo ter-se-ia prolongado durante mais de 3 M.A.; a ilha teria então extensão que abrangeiria todos os ilhéus».

Refira-se que a instalação dos vulcanitos e criptodomos e diques de riolitos, traquitos, mugearitos e benmoreitos migrou de NE para SW, e que houve progressiva alcalinização no intervalo entre 17 M.A. e 12 M.A.

Os movimentos verticais foram diversos: levantamento em bloco, empolamento quando o vulcão Juliana foi activo e basculamento do Norte a Sul.

O controlo das polaridades paleomagnéticas e múltiplas datações K-Ar permitem definir a sequência de inversões em Porto Santo.

2.3. As lavas das ilhas Selvagens

As lavas das ilhas Selvagens interessaram vários autores, como Morais (1940), Jeremine (1951), Aires-Barros (1961), Honnorez (1963), mas é o estudo de MATIAS (1986) que nos fornece uma visão de conjunto coerente do ponto de vista geológico-petroológico-geoquímico.

As ilhas Selvagens constituem os topos de um vasto edifício vulcânico submarino construído com os materiais de sucessivas erupções ocorridas durante o Terciário. Estão aqui representados quatro episódios geológicos, dois vulcânicos e dois sedimentares. O episódio vulcânico antigo está representado em todas as ilhas e é constituído por lavas alcalinas, nefeliníticas, correspondendo a fases efusivas mais calmas, já que as brechas ocorrentes representam as fases explosivas.

Datações pelo método do K-Ar (Portugal-Ferreira *et al.*, 1986) atribuem a este Complexo a idade de 26 ± 2 M.A.

O Complexo vulcânico superior está separado do Complexo vulcânico inferior atrás mencionado por um nível sedimentar com um conglomerado de base que passa a arenito de cimento calcário-fosfatado.

O Complexo vulcânico superior engloba escoadas de lavas basálticas e ainda hialotufos e lapilli. São comuns nódulos ultramáficos, peridotíticos e piroxénicos.

Superficialmente há um nível recente de cobertura constituído por cascalheiras de praia e areias organogénicas calcárias.

Apresentam-se no Quadro II os dados químicos (elementos maiores e menores) das rochas das escoadas dos Complexos vulcânicos das ilhas Selvagens sucintamente caracterizados.

Crítérios mineralógicos, petrográficos e geoquímicos apontam a cristalização fraccionada como principal mecanismo da diferenciação das séries magmáticas alcalinas e subsaturadas que constituem os dois

QUADRO II

	Complexo vulcânico Inferior (%)	Complexo vulcânico Superior (%)
SiO ₂	37.40 – 56.13	39.87 – 45.19
Al ₂ O ₃	8.78 – 22.27	7.37 – 16.94
Fe Total	2.38 – 12.55	7.18 – 18.51
FeO+0.899Fe ₂ O ₃		
MgO	0.18 – 15.74	4.04 – 14.96
CaO	1.39 – 16.14	6.95 – 11.77
Na ₂ O	0.44 – 11.74	1.77 – 5.26
K ₂ O	0.24 – 5.45	0.33 – 3.83
TiO ₂	0.11 – 3.81	1.31 – 3.86
P ₂ O ₅	0.11 – 2.87	0.57 – 2.04
MnO	0.05 – 0.45	0.16 – 0.43
Nb/Zr	0.26 – 0.31	0.29 – 0.30
Zr/y	9 – 18	7 – 9
Y/Nb	0.18 – 0.36	0.36 – 0.45
TiO ₂ /Zr	0.004 – 0.018	0.004 – 0.020

complexos vulcânicos apresentados. A separação gravítica teria sido outro factor também importante e responsável pela formação de acumulados de que são testemunhos os nódulos granulares carreados pelas lavas do Complexo Vulcânico Inferior.

De momento não há evidências geoquímicas que indiquem fontes mantélicas diferentes para os dois complexos.

Os valores das razões Nb/Zr e Zr/Y apresentadas pelas lavas, cujos teores de MgO + CaO estão no intervalo 12 a 20%, são semelhantes aos dos basaltos de outras ilhas atlânticas e situam-se no grupo dos basaltos de intraplaca.

Os valores de P e de outros elementos incompatíveis (Nb, Zr) quando comparados com os de outras séries alcalinas oceânicas, são relativamente elevados o que se atribui a baixos graus de fusão parcial na região mantélica fonte, região já por si provavelmente enriquecida nestes elementos por episódios anteriores (metassomatismo? provocado por fundidos originados em zonas mais profundas do manto).

2.4. As lavas cabo-verdianas²

A grande erupção da ilha do Fogo em 1786, é cuidadosamente descrita pelo engenheiro militar Feijó (1786) que estava nessa altura em trabalhos no arquipélago. Mas, remontam a Darwin (1884) (com a abordagem a S. Tiago pelo Beagle), as primeiras observações geológicas alguma vez efectuadas no arquipélago e, aparte uma ou outra referência ao vulcanismo do Fogo, ou à paleontologia nas ilhas, é necessário esperar por 1882 para ter conhecimento da importante contribuição de Doelter (1882). Posteriormente Friedlander (1912) publica trabalhos vulcanológicos sobre esta área.

Mas é Bebiano (1927, 1929, 1932, 1933) quem não só indica verdadeiramente a literatura geológica do arquipélago, em língua portuguesa, como faz pela primeira vez um dilatado estudo geológico. Entretanto, Part (1930) apresenta o estudo de rochas colhidas na ilha de S. Vicente durante uma campanha efectuada pelo «Quest». Voltaria a escrever entre 1946 e 1951, sobre rochas cabo-verdeanas.

Por altura destes trabalhos são dados à estampa numerosos ensaios de natureza regional entre os quais o de Jesus (1932) e Neiva (1940).

² De colaboração com C. A. Matos-Alves.

Este último autor, publica sobre o quimismo das formações eruptivas das ilhas, referindo o que se designa por «afinidades petrográficas da Macaronésia».

Em 1951, assinala-se um facto excepcional que é a expedição geológica à ilha do Fogo — durante a erupção daquele majestoso aparelho vulcânico —, orientada por Orlando Ribeiro. As suas observações vêm coligidas em magnífica monografia publicada pela Junta de Investigações do Ultramar. Não se faz esperar a publicação de Torre de Assunção que, com a mesma data (Assunção, 1954), assina a «Expedição científica à ilha do Fogo (Estudos petrológicos)» onde, como no título se indica, se dá uma valiosa cobertura petrográfica àqueles acontecimentos. São deste autor, e de seus colaboradores, muitos dos trabalhos que, seguidamente, foram aparecendo sobre as rochas do arquipélago, devendo-se-lhes muitas das primeiras designações petrográficas, as análises químicas, as sínteses de natureza genética, etc.

A partir de 1960, Mitchell-Thomé publica várias vezes a propósito da geologia de Cabo Verde; a sua hidrogeologia, sedimentos, relevo, e vulcanismo, para culminar, em 1976, com a monumental e essencial referência da Macaronésia «The Geology of the Middle Atlantic Islands».

Em 1963 A. Serralheiro inicia os trabalhos de cartografia geológica nas ilhas cabo-verdeanas; primeiro em S. Vicente, depois na ilha de Maio, onde trabalhou até 1965. Desta actividade resultaram numerosas publicações para as quais remetemos o leitor para as referências bibliográficas, destacando a monografia «Geologia da ilha de Maio (Cabo Verde)».

Em 1965 é descoberta a existência de carbonatitos nas ilhas, referida em trabalho de Assunção, Machado e Gomes (1965). Tal facto é largamente divulgado por Heinrich em 1966, no seu tratado «The Geology of Carbonatites», que dá conta do facto, mas não da paternidade da descoberta.

No ano seguinte, a Junta de Investigações do Ultramar constituiu um grupo vulcanológico com os geólogos do seu Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos e a colaboração de docentes do Grupo de Mineralogia e Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Tal grupo, que viria a consagrar-se sob o nome de «Missão Geológica de Cabo Verde», inicia trabalhos sistemáticos de cartografia, petrologia e geoquímica do arquipélago e realiza campanhas geológicas

às ilhas de Santiago, Boa Vista e S. Nicolau, que deram origem a numerosas monografias, mapas geológicos, etc.³.

Em 1970, o aparecimento da carta da ilha de Santiago fica a constituir um marco nos trabalhos geológicos da «Missão Geológica» naquele arquipélago atlântico.

Em 1971 Luís Celestino Silva assegura a continuidade dos trabalhos da «Missão Geológica», dando ênfase especial ao estudo dos complexos alcalinos e alcalino-carbonatíticos da Boa Vista e de Santiago, tendo evidenciado as suas estruturas, petrografia e mineralogia peculiares, assinalando, pela primeira vez, a existência de um cortejo de silicatos de zircónio assaz interessante com lavenite e eudialite em destaque. Remetemos também aqui o leitor para as referências bibliográficas para se dar conta dos muitos trabalhos de Celestino Silva sobre o Arquipélago de Cabo Verde.

Em 1976, publica-se a tese de doutoramento de António Serralheiro «A Geologia da Ilha de Santiago (Cabo Verde)».

Em 1980, Luís Celestino publica um estudo onde se dá conta do aparecimento de zirconolite em carbonatitos do arquipélago, mineral de que se conhecem raras ocorrências em todo o mundo.

Neste mesmo ano é constituído um grupo internacional de estudo vulcanológico das ilhas (ingleses, portugueses, irlandeses, belgas, franceses e noruegueses). No âmbito deste grupo foram realizadas várias campanhas geológicas em quase todas as ilhas (excepto Sal, Boa Vista, S. Nicolau) até 1963, e destes trabalhos resultaram várias teses de doutoramento apresentadas em universidades estrangeiras.

No âmbito desta colaboração internacional, Luís Celestino Silva e outros colaboradores, publicam um estudo em que se assinalam pela primeira vez as estruturas vulcânicas carbonatíticas, oceânicas onde se evidenciam fases extrusivas de natureza piroclástica.

A partir de 1982, iniciou-se uma fase de trabalhos no quadro de Cooperação entre o Centro de Geologia do IICT, o Departamento de Geologia da FCUL e as autoridades de República de Cabo Verde, de que resultaram campanhas de trabalhos cartográficos em S. Nicolau e no Sal, tendo-se publicado a carta da primeira destas ilhas, na escala 1/50.000, e realizado sucessivas campanhas na segunda, com a principal finalidade de publicar a respectiva carta.

³ 12 mapas geológicos na escala de 1/25.000 de Santiago, 1 mapa-resumo na escala 1/1000.000 da Boa Vista, 1 esboço geológico de S. Nicolau.

2.5. As lavas das ilhas de S. Tomé e Príncipe

As ilhas de S. Tomé e Príncipe situam-se no Golfo da Guiné e pertencem ao grande alinhamento de rumo SW-NE, conhecido por «linha dos Camarões». Este alinhamento, no sector oceânico está marcado pelas ilhas vulcânicas de Pagalu (antiga Ano Bom), São Tomé, Príncipe e Bioko (antiga Fernando Pó). No continente africano esta linha geotectónica bifurca-se tendo o conjunto configuração em Y.

Esta zona tem estado vulcanicamente activa desde há 36 ± 2.5 M.A. (Fitton & Dunlop, 1986).

As rochas vulcânicas mais antigas, do sector oceânico, situam-se na ilha do Príncipe. Trata-se de um basalto da brecha palagonítica da base da série lávica mais antiga com a idade de $30,6 \pm 2,1$ M.A. (Dunlop & Fitton, 1979).

As principais unidades vulcânicas das ilhas de S. Tomé e Príncipe onde as escoadas basálticas predominam, são:

Na ilha do Príncipe:

- série lávica mais antiga – essencialmente basanitos e hawaiiitos,
- série lávica mais moderna – essencialmente basanitos e nefelinitos.

Na ilha de S. Tomé, os episódios lávicos sucederam-se do seguinte modo:

- Lavas basálticas e basaníticas (0 M.A.)
- Lavas fonolíticas (3 M.A.)
- Lavas basálticas e traquíticas (6/8 M.A.)
- Lavas traquíticas (13 M.A.).

Critérios mineraloquímicos indicam que os tipos petrográficos de cada ilha, desde os basaltos aos traquitos e fonolitos, são congénitos, resultantes da diferenciação por cristalização fraccionada de uma mesma série petrológica de quimismo alcalino-sódico.

No Quadro III apresentam-se os dados químicos (elementos maiores e menores) das lavas de S. Tomé e Príncipe. Estes valores reportam-se a 47 análises de rochas para elementos maiores e a 27 análises de rochas para elementos menores, no caso da ilha do Príncipe. Para a ilha de S. Tomé, referem-se a 30 análises de rochas lávicas para elementos maiores e a 13 análises de rochas para elementos menores.

QUADRO III

	Intervalo de variação S. Tomé (%)	Intervalo de variação Príncipe (%)
SiO ₂	40.77 – 62.84	37.89 – 61.36
Al ₂ O ₃	10.99 – 21.96	10.15 – 25.55
Fe Total	0.22 – 16.16	1.53 – 14.67
MgO	0.07 – 10.82	0.00 – 13.04
CaO	0.65 – 11.44	0.65 – 14.66
Na ₂ O	1.47 – 10.98	1.82 – 12.87
K ₂ O	0.79 – 7.06	0.37 – 7.45
TiO ₂	0.17 – 7.00	0.00 – 4.70
P ₂ O ₅	0.00 – 1.38	0.00 – 1.43
MnO	0.00 – 0.77	0.00 – 0.49
Zr/Nb	4 – 10	4 – 18
Zr/Y	8 – 65	8 – 125
Zr	261 – 845	120 – 1904
Rb	27 – 227	13 – 377

Da observação macro e microscópica das lavas quer de S. Tomé quer do Príncipe ressalta a sua semelhança mineralógica e petrográfica. Relativamente à composição química também há semelhança. São séries alcalinas que vão desde os basaltos aos fonolitos e traquitos, passando pelos basanitos e fonotefritos, e tanto os termos mais básicos como os mais evoluídos apresentam grandes semelhanças geoquímicas quer no que respeita a elementos maiores quer relativamente a elementos menores.

As representações triangulares Zr/Nb - Zr/Y - Y/Nb atribuem as lavas destas ilhas, ricas em elementos incompatíveis (Zr > 120 ppm, Rb > ppm K₂O ≈ 0,5 – 7,5% e com razões Zr/Nb variando entre 4 e 18 e Zr/Y entre 8 a 125, características de vulcanismo ligado a possível pluma mantélica. Este processo poderia ser responsável pelo enriquecimento em elementos incompatíveis do manto superior, onde, por fusão parcial, teriam tido origem os magmas alcalinos paternos das ilhas de S. Tomé e Príncipe.

Ultimamente, para além dos trabalhos nacionais sobre a petrologia e geoquímica destas ilhas, têm aparecido alguns trabalhos de investi-

gadores estrangeiros, principalmente ingleses e também norte-americanos procurando visões de síntese sobre a dinâmica do vulcanismo da linha dos Camarões.

Com efeito esta longa linha de fogo de cerca de 1.600 km com bifurcação em Y, com vulcões com idades aquém dos 30 M.A. e com partes plutónicas, no continente africano, com idades aquém dos 70 M.A. leva à apresentação de vários tipos de modelos petrogenéticos nem sempre concordantes.

Deve-se a Halliday *et al.* (1988) uma visão de conjunto com a discussão de quatro modelos. Todavia estes autores terminam o seu estudo salientando que as debilidades das conclusões genéticas avançadas resultam da necessidade de mais dados sobre os centros vulcânicos individuais. Para colmatar esta lacuna prosseguem os estudos sobre estas ilhas (que vêm de há cerca de 30 anos) e projectam-se novas abordagens, inclusivamente com missões ao terreno.

Referências Bibliográficas

- AIRES-BARROS, L. (1959) — «Geoquimismo do Complexo basáltico de Lisboa-Mafra». *Bol. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. 8, pp. 7-32.
- AIRES-BARROS, L. *et al.* (1974) — «Preliminary note on the petrology of Madeira Islands». *Bol. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. 14 (1), pp. 5-27.
- AIRES-BARROS, L. (1979) — «Actividade ígnea pós-Paleozóica no Continente Português (elementos para uma análise crítica)». *Ciênc. da Terra*, Lisboa, n.º 5, pp. 175-214.
- ALBUQUERQUE, M. (1826) — *Observações sobre a ilha de S. Miguel*. Imprensa Régia, Lisboa.
- ASSUNÇÃO, C. F. T. (1936) — *Cristalização-diferenciação do magma basáltico*. Tese. Lisboa, 87 págs.
- ASSUNÇÃO, C. F. T. (1938-1940) — «Sobre a petrologia das formações eruptivas do Algarve». *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Lisboa*, n.ºs 7-8, 3.ª Série, pp. 47-81.
- ASSUNÇÃO, C. F. T., BRAK-LAMY, J. (1951) — «Rochas basálticas e doleríticas da orla ocidental do maciço antigo». *Rev. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. I (2.ª S-C), pp. 307-336.

- ASSUNÇÃO, C. F. T. (1954) — *Expedição Científica à Ilha do Fogo. Estudos Petrográficos (1952-53)*. Mem. Ser. Petrog. I, Junta Inv. Ultram., Lisboa, 156 págs.
- ASSUNÇÃO, C. F. T. (1961) — «Estudo petrográfico da ilha de S. Miguel (Açores)». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. XLV, pp. 81-176.
- ASSUNÇÃO, C. F. T., PERDIGÃO, J. C. (1962) — «Sobre o prolongamento do alinhamento filoneano dolerítico até Ouguela». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. XLVI, pp. 249-363.
- ASSUNÇÃO, C. F. T., MACHADO, F., GOMES, R. D. (1965) — «On the occurrence of carbonatites in the Cape Verde Islands». *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Porto, n.º 16, pp. 179-188.
- ASSUNÇÃO, C. F. T., CANILHO, M. H. (1970) — «Notas sobre a petrografia comparada das ilhas atlânticas (Arquipélagos dos Açores e de Cabo Verde)». *Bol. Mus. e Labor. Mineral. e Geol. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. 11 (2), pp. 305-342.
- ASSUNÇÃO, C. F. T., CANILHO, M. H., CANELHAS, M. G. (1974) — «Un aperçu sur la pétrographie éruptive des Açores (contributions portugaises)». *Bol. Mus. Mineral. Geol. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. 14 (1), pp. 77-118.
- BEBIANO, J. B. (1927) — «Missão geográfica de Cabo Verde (1927). Alguns Trechos do Relatório sobre o reconhecimento geológico da Ilha de Santiago». *Bol. Ag. Ger. Colón.*, Lisboa, t. III (25), pp. 39-77.
- BEBIANO, J. B. (1929) — «A situação científica do Arquipélago de Cabo Verde. O vulcão do Fogo — uma das maiores belezas geológicas do Mundo». *Bol. Ag. Ger. Colón.*, Lisboa, v. 45, pp. 3-13.
- BEBIANO, J. B. (1932) — «A Geologia do Arquipélago de Cabo Verde». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, n.º 18, 275 págs.
- BEBIANO, J. B. (1933) — «Breve notícia acerca do vulcão da Ilha do Fogo». *Bol. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa*, n.º 2, pp. 133-148.
- BERTHOIS, L. (1953) — «Contribution à l'étude lithologique de l'archipel des Açores». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 34.
- CANILHO, M. H. (1969-1970) — «Sobre a possível origem dos nódulos olivínicos em lavas basálticas da ilha do Faial (Açores)». *Bol. Mus. Lab. Miner. Geol. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. 11 (2), pp. 193-198.
- CANTO E CASTRO, E. V. P. (1888) — *Recherches micrographiques sur quelques roches de l'île de San Miguel (Açores)*. Imprensa Nacional, Lisboa.
- CANTO E CASTRO, E. V. P. (1891) — «Ensaio crítico sobre a bibliographia geológica dos Açores e nomeadamente de S. Miguel». *Archivo dos Açores*, sep. LXIII, pp. 1-36.

- CASTELO-BRANCO, A., ZBYSZEWSKI, G., MEDEIROS, A. C., MOUTINHO-ALMEIDA, F. (1957) — «Étude Géologique de la Région de Furnas dans l'île de S. Miguel (Açores)». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 38 (1), pp. 5-61.
- CERVEIRA, A. (1951) — «Sobre a metalogenia do urânio em Portugal». *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Porto, v. VIII (III), pp. 141-179.
- CHOFFAT, P. (1882) — «Note préliminaire sur les vallées tiphoniques et les éruptions d'ophite et de teschenite en Portugal». *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, t. X, 3.ª Série, pp. 267-295.
- COELHO, A. V. P. (1976) — «I. Rochas eruptivas da orla sedimentar do Barlavento Algarvio. II. Ensaio de interpretação da génese do maciço de Monchique». *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Lisboa, v. XX, pp. 167-214.
- DARWIN, C. (1844) — *Geological Observations on the Volcanic Island*. Smith Elder & Co., London, 674 págs.
- DOELTER, C. (1882) — *Die Vulkane der Kapverden und ihre Produkte*. Leuschner u. Lubensky, Graz, 171 págs.
- DUNLOP, A. M., FITTON, J. C. (1979) — «A K-Ar and Sr-isotopic study of the volcanic island of Príncipe, West Africa — evidence for mantle heterogeneity beneath the Gulf of Guinea». *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 71, pp. 125-131.
- FEIJÓ, J. S. (1786) — *Memória sobre a nova erupção volcanica do Pico da Ilha do Fogo*. Arq. Hist. Ultram., Lisboa.
- FITTON, J. C., DUNLOP, H. M. (1985) — «The Cameroon line, West Africa, and its bearing on the origin of oceanic and continental alkaline basalt». *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 72, pp. 23-38.
- FOUQUÉ, M. (1883) — «Feldspath triclínique de Quatro Ribeiras (île de Terceira)». *Bull. Soc. Mineral. France*, Paris, n.º 7, pp. 1-13.
- FRIEDLANDER, I. (1912) — «Über das Vorkommen alterer Gesteine, darunter Kalkstein mit Aptychen auf den Kapverden». *Akad. Anz.*, Viena, 19.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G. (1987) — *BDRIA - Sistema de Base de Dados Petrologicos e Geoquímicos das Rochas Igneas do Arquipélago dos Açores*. Doc. CV/INIC, 02/07.
- HALLIDAY, A. N., DICKIN, A. P., FITTON, J. G. (1988) — «Mantle Dynamics. A Nd, Sr, Pb, and O isotopi cstudy of the Comeroon Line volcanic chain». *Journ. Petrol.*, v. 29 (I), pp. 181-211.
- HARTUNG, G. (1860) — «Die Azoren in ihrer ausseren Erscheinung und nach ihrer geognostischen». *Nature*, I-VIII, Engelman Verlag, Leipzig.

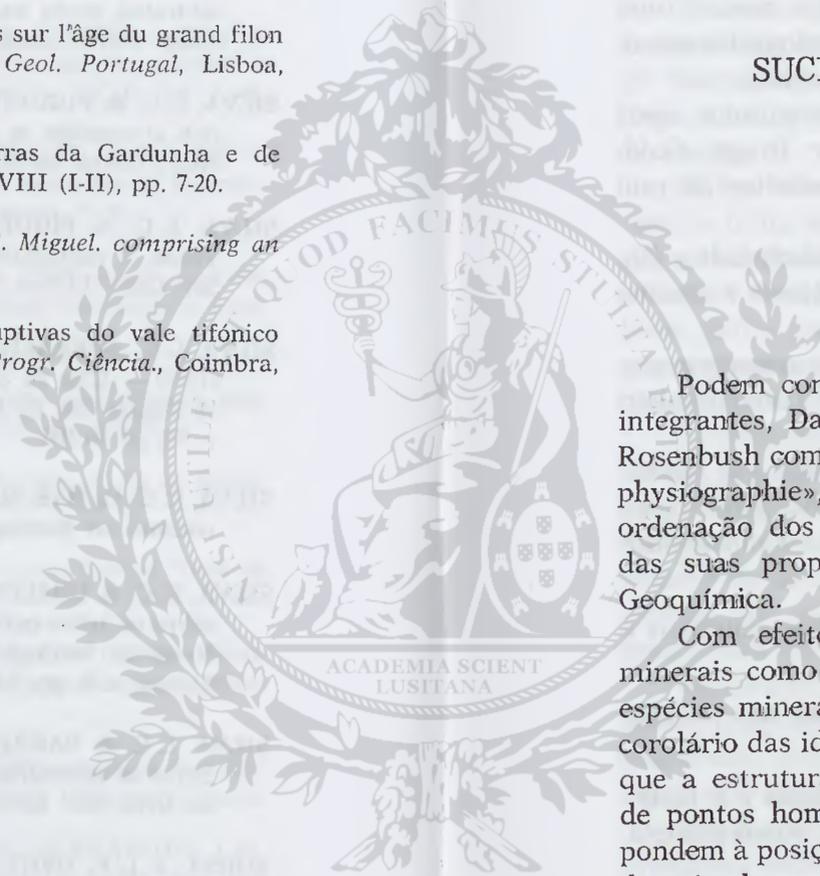
- HONNOREZ, J. (1963) — «Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Archipel des Selvagens». *Bull. Acad. Roy. Scienc. d'Outremer, Cl. Scienc. Techn.*, Bruxelles, N. S. XVI (4), pp. 1-43.
- JÉRÉMINE, E. (1951) — «Contributions à la connaissance Lithologique de la Grande Selvagem». *Revista Fac. Ciências Lisboa*, II Série, vol. 1, Fac. 1, pp. 51-20.
- JÉRÉMINE, E. (1957) — «Étude microscopique des roches de la région de Furnas (S. Miguel, Açores)». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa.
- JESUS, A. M. (1932) — «Subsídios para a petrologia do Arquipélago de Cabo Verde (Ilha de S. Vicente)». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, n.º 17, pp. 86-103.
- JESUS, A. M., ZBYSZEWSKI, G. (1952) — «Contribution à l'étude du Complexe basaltique de Lisbonne». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. XXXIII, pp. 185-220.
- LACROIX, A. (1983) — *Les Enclaves des Roches Volcaniques*. Paris.
- MACHADO, F. (1954) — «Earthquake intensity anomalies and magma chambers of Azorean volcanoes». *Trans. Amer. Geophys. Union*, v. 35 (5), pp. 833-837.
- MACHADO, F. (1972) — «Acid volcanoes of San Miguel, Azores». *Bull. Volcanol.*, t. XXXVI (2), pp. 319-327.
- MACPHERSON, J. (1882) — «Description des roches mentionnées dans la notice précédente (CHOFFAT - Note préliminaire sur les vallées tiphoniques et les éruptions d'ophite et de teschenite en Portugal)». *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, t. X, 3º S., pp. 289-296.
- MATIAS, M. J. (1986) — *Contribuição para o Estudo Petroológico e Geoquímico das Ilhas Selvagens*. Est. Ens. Doc., Lisboa, n.º 146.
- MATOS-ALVES, C., RODRIGUES, B., SERRALHEIRO, A., FARIA, A., (1980) — «O Complexo Basáltico de Lisboa». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. 66, pp. 111-134.
- MIRANDA, A. M., MATIAS, M. J., BASTO, M. J. (1983-1985) — «Contribuição para o conhecimento das rochas lamprofíricas portuguesas». I Cong. Nac. Geologia, *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Lisboa, v. XXIV, pp. 55-61.
- MORAIS, J. C. (1940) — «Arquipélago das Selvagens». *Mem. Not. Mus. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 11.
- MUGGE, O. (1883) — «Petrographische Untersuchungen an Gesteinen von der Azoren». *N. Jb. Miner. Geol., Pal.*, v. 2, pp. 189-244.

- NEIVA, J. M. C. (1940) — «Considerações sobre o quimismo das formações eruptivas do Arquipélago de Cabo Verde». *Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Porto*, n.º 17, 54 págs.
- OSSAN, A. (1888) — «Uber sanidine von São Miguel». *N. Jb. Miner. Geol., Pal.*, v. 1, pp. 117-130.
- PALACIOS, T. (1985) — «Petrologia do Complexo Vulcânico de Lisboa». Diss. Dout., Univ. Lisboa, 260 p.
- PALACIOS, T., MUNHA, J., KERRICH, R., MATOS-ALVES, C., ABRANCHES, C. (1988) — «Petrogénese do Complexo Vulcânico de Lisboa: evidência isotópica». *Geociências*, Univ. de Aveiro, v. 3, pp. 115-122.
- PART, G. M. (1930) — «Report on rocks collected from St. Vincent, Cape Verde Islands. Geolog. Coll. made during voyage of Quest». *Brit. Nat. Hist. Mus. London*, ch. 11, pp. 117-125.
- PART, G. M. (1946) — «An Augitite from S. Vicente, Cape Verde Islands». *Geol. Mag., Hertford, Hertz*, n.º 83, pp. 241-242.
- PART, G. M. (1950) — «Volcanic Rocks from Cape Verde Islands». *Bull. Brit. Mus. Nat. Hist., Mineralogy*, London, n.º 12, pp. 27-72.
- PART, G. M. (1950) — «Occurrence of Nepheline-Monzonite and allied types in the Cape Verde Archipelago». *Geol. Mag., Hertford, Hertz*, n.º 87, pp. 421-426.
- PART, G. M. (1951) — «Tertiary and Pleistocene Sediments from the Cape Verde Archipelago». *Geol. Mag., Hertford, Hertz*, n.º 87.
- PORTUGAL-FERREIRA, M., MACEDO, C. A. R. (1977) — «Actividade basáltica Pérmico-Liásica no território português: Uma abordagem para a datação». *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 83, pp. 39-52.
- PORTUGAL-FERREIRA, M., MACEDO, C. A. R. (1979) — «Actividade magmática durante o Mesozóico: I - Abre caminho para a datação K-Ar das rochas filonianas básicas intrusivas na Zona Centro-Ibérica (Portugal)». *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 87, pp. 29-59.
- PORTUGAL-FERREIRA, M. (1985) — «Evolução geocronológica e paleomagnética das ilhas do arquipélago da Madeira - Uma Síntese». *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, n.º 99, pp. 213-218.
- PORTUGAL-FERREIRA, M., FERREIRA, J. T., ARMENTA, J. C., PADILLA, C. R. S. (1986) — «Geocronologia das Ilhas Selvagens». *Maleo*, Lisboa, v. 2 (13), pp. 20.

- ROCHA, R. B. (1971) — «Contribuição para o estudo geológico da região de Cabo de S. Vicente-Alvor». *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Lisboa, v. XVII (II-III), pp. 139-167.
- RODRIGUES, B., SERRALHEIRO, A., PALACIOS, T. (1981) — «Ensaio preliminar de orientação para correlação geoquímica de tufos do complexo vulcânico de Lisboa». *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, n.º 91-92, pp. 73-87.
- RODRIGUES, B., MATOS-ALVES, C., MUNHA, J., PALACIOS, T. (1982) — «Geochemistry of Lisbon Basaltic Complex: some relations between magma generation and geotectonic setting». *Bol. Soc. Geol. Portugal*, Lisboa, v. XXIII, pp. 37-44.
- RODRIGUES, B., MATOS-ALVES, C., SERRALHEIRO, A., FORJAZ, V. H. (1985) — «Nota prévia sobre a petrologia e geoquímica da ilha de Santa Maria, Açores». *Mem. Acad. Ciênc. (Classe de Ciências)*, Lisboa, t. XXVI, pp. 71-91.
- RODRIGUES, B., FORJAZ, V. H., GASPAR, J. L. (1990) — «A preliminary note on the geochemical evolution of volcanism in S. Miguel island (Azores)». A apresentar à Academia das Ciências de Lisboa.
- SERRALHEIRO, A. (1966) — «Contribuição para o conhecimento geológico da Ilha de S. Vicente (Cabo Verde)». *Garcia de Orta*, Lisboa, v. 14, pp. 139-152.
- SERRALHEIRO, A. (1970) — *Geologia da ilha de Maio (Cabo Verde)*. Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 103 págs.
- SERRALHEIRO, A. (1976) — *A Geologia da ilha de Santiago (Cabo Verde)*. Tese de doutoramento. Fac. Ciênc. Lisboa.
- SERRALHEIRO, A., ALVES, C. A. M., MACEDO, J. R. & SILVA, L. C. (1974) — «Note préliminaire sur la géologie de l'île de Boa Vista (Cap Vert)». *Garcia de Orta*, Serv. Geol., Lisboa, v. 1 (3), pp. 53-60.
- SERRALHEIRO, A., MACEDO, J. R. & SILVA, L. C. (1977) — *Carta Geológica de Cabo Verde, ilha de Santiago, na escala de 1:100.000*. Junta Invest. Ultramar, Lisboa.
- SERRALHEIRO, A., MACEDO, J. R. & SILVA, L. C. com colab. de BRANDÃO, J. M. (Portugal) & GOMES, A. M. (Cabo Verde) (1983) — *Carta Geológica de Cabo Verde, ilha de S. Nicolau, na escala de 1:50.000*. Instituto Investigação Científica Tropical, Lisboa.
- SERRALHEIRO, A., MATOS-ALVES, C. A., FORJAZ, V. H., RODRIGUES, B. (1987) — *Carta Vulcanológica dos Açores, ilha de Santa Maria*. Centro de Vulcanologia do INIC, Ponta Delgada.
- SILVA, L. C. (1977) — «Variação química de elementos maiores em fenocristais zonados de clinopiroxenas de gabros alcalinos (ilha de Santiago-Cabo Verde): sua possível aplicação como indicador geobarométrico». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, v. 62, pp. 35-43.

- SILVA, L. C. (1979) — «Considerações geológicas e estudos preliminares sobre inclusões primárias fluídas e sólidas em apatites de rochas carbonatíticas e ípolíticas da ilha de Santiago (República de Cabo Verde)». *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, v. 64, pp. 261-268.
- SILVA, L. C. & FIGUEIREDO, M. O. (1976) — «Alkaline-calcic metasomatic undersaturated rocks associated with alkaline-carbonatitic complexes of Santiago (Cape Verde Islands)». *Garcia de Orta*, Ser. Geol., Lisboa, vol. 1, pp. 133-142.
- SILVA, L. C. & FIGUEIREDO, M. O. (1980) — «Note on the occurrence of niobium rich zirconolite in carbonatitic rocks of Santiago Islands (Cape Verde Republic)». *Garcia de Orta*, Ser. Geol., Lisboa, vol. 4, pp. 1-6.
- SILVA, L. C. & FIGUEIREDO, M. O. (1983) — «Nótulas de mineralogia de Cabo Verde. A natrojarosite da baía de Angra, ilha de Santiago». *Garcia de Orta*, Ser. Geol., Lisboa, vol. 6, pp. 143-150.
- SILVA, L. C., SERRALHEIRO, A., MACEDO, J. R., ALVES, C. A. M. & FARIA, A. F. P. (1979) — «L'île de Santiago, Cap Vert, dans le cadre pétrologique de l'Archipel et d'autres îles de l'Atlantique». *Bol. Mus. Lab. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa*, v. 16, pp. 81-100.
- SILVA, L. C., Le BAS, M. J. & ROBERTSON, A. H. F. (1981) — «An oceanic carbonatite volcano on Santiago. Cape Verde Islands». *Nature*, v. 294 (5842), pp. 644-645.
- SILVA, L. C. & UBALDO, M. L. (1985) — «Considerações geológicas e petrogenéticas sobre os tufos carbonatíticos globulares da estrutura alcalino-carbonatítica do Norte de Santiago, arquipélago de Cabo Verde». *Garcia de Orta*, Ser. Geol., Lisboa, v. 8, pp. 1-6.
- SILVA, L. C. & BARRIGA, F. J. A. S. (1987) — «Primary analcime megacrysts up to 20 cm in phonolitic and basaltic rocks. Boa Vista, Cape Verde Islands». *Garcia de Orta*, Ser. Geol., Lisboa, v. 10, pp. 1-10.
- SOUSA, F. L. P. (1917) — «Sur les éruptions du littoral de l'Algarve (Portugal)». *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 165, pp. 674-675.
- SOUSA, F. L. P. (1922) — «Sur les roches éruptives de la bordure mésozoïque et cainozoïque de l'Algarve et leur âge géologique». *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 175, pp. 822-824.
- SOUSA, F. L. P. (1930) — «Sur les roches éruptives de la partie occidentale de l'Algarve (Portugal)». *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 191, pp. 59-61.
- SOUSA, F. L. P. (1931) — «Algumas rochas eruptivas mesozóicas e cenozóicas de Portugal». *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Lisboa*, n.º 1, 1.ª Série, pp. 5-16.

- SOUZA-BRANDÃO, V. (1907) — «Les espechellites, une nouvelle famille de roches de filons au Cap d'Espichel». *Ann. Scient. Acad. Polit. Porto*, v. II, 1.ª Parte.
- TEIXEIRA, C., ASSUNÇÃO, C.F.T. (1958) — «Rochas básicas de fácies gabróica e dolerítica intrusivas nos granitos da Beira». *Rev. Fac. Ciênc. Lisboa*, v. VI, (2.ª S-C), pp. 81-123.
- TEIXEIRA, C., TORQUATO, J.R. (1975) — «Nouvelles donnés sur l'âge du grand filon doleritique de Vila do Bispo-Placência». *Bol. Soc. Geol. Portugal, Lisboa*, v. XIX (III), pp. 99-101.
- THADEU, D. (1949) — «A Cordilheira Central entre as serras da Gardunha e de São-Pedro-do-Açor». *Bol. Soc. Geol. Portugal, Porto*, v. VIII (I-II), pp. 7-20.
- WEBSTER, J. (1821) — *A description of the island of the S. Miguel, comprising an account of its geological structure*. Thesis, Boston.
- ZBYSZEWSKI, G., ANDRADE, M.M. (1956) — «Rochas eruptivas do vale tifónico das Caldas da Rainha». *XXIII Cong. Luso-Espanhol Progr. Ciência.*, Coimbra, pp. 7-22.



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

A GEOQUÍMICA :
BREVE PERCURSO HISTÓRICO.
SUCINTO PANORAMA NACIONAL ACTUAL

L. AIRES-BARROS *

I

Podem considerar-se Haiüy (1784) com a sua teoria das moléculas integrantes, Dana (1837) com o seu «System of Mineralogy», Zirkel e Rosenbush com o «Lehrbuch der Petrographie» e com o «Mikroskopische physiographie», ambos de 1893, bem como Mendeleev (1869) com a genial ordenação dos elementos químicos de acordo com funções periódicas das suas propriedades, como os percursores e pré-anunciadores da Geoquímica.

Com efeito foi Haiüy o primeiro a considerar a estrutura dos minerais como a característica essencial que individualiza as diferentes espécies minerais. Bravais em 1851 ao elaborar a teoria reticular como corolário das ideias de Haiüy, admitiu a homogeneidade cristalina e supôs que a estrutura da matéria cristalina corresponde a uma distribuição de pontos homólogos que ocupam os nós de uma rede e que correspondem à posição que realmente ocupam as partículas materiais (átomos) do cristal.

A teoria reticular e a aceitação da natureza corpuscular e descontínua da matéria pôs o problema de saber como se distribuem os átomos nas redes, satisfazendo os princípios da simetria cristalina. Assim se elaborou a teoria das estruturas que se ocupa dos espaços descontínuos que, combinando de todos os modos possíveis (compatíveis com a lei de Haiüy) os elementos de simetria do espaço, permite demonstrar a

* Professor Catedrático do IST (Universidade Técnica de Lisboa).