

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DAS
ROCHAS VULCÂNICAS DA ILHA DE SÃO TOMÉ**

José Manuel dos Ramos Lopes

Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

Co-orientadora: Profa. Dra. Rita Caldeira

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/26)**

**SÃO PAULO
2010**

TF
L864
JMR.c

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900028375

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA ISOTÓPICA DAS
ROCHAS VULCÂNICAS DA ILHA DE SÃO TOMÉ**

José Manuel dos Ramos Lopes



Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

Co-orientadora: Profa. Dra. Rita Caldeira

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2010/26)**

SÃO PAULO
2010

Trabalho de Formatura 2010/26

Caracterização Geoquímica Isotópica das Rochas Vulcânicas da Ilha de São Tomé


Aluno: José Manuel dos Ramos Lopes

Orientador: Prof. Dr. Umberto Giuseppe Cordani

Co-orientadora: Profa. Dra. Rita Caldeira

Instituto de Geociências – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental
(GSA)

De acordo,



José Manuel dos Ramos Lopes

Autor



Umberto Giuseppe Cordani

Orientador

São Paulo, 08 de Novembro de 2010.

Agradecimentos

Este trabalho de formatura foi realizado sob orientação do Professor Doutor Umberto Giuseppe Cordani do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental (GSA) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, constituindo assim, em um trabalho de conclusão de curso na área de Geoquímica Isotópica.

Quero deixar aqui registrado sincero agradecimento a todos, que de uma maneira ou de outro, fizeram parte no processo de aprendizado que levarei comigo.

Em primeiro lugar, deixo registrado o meu profundo agradecimento ao Brasil, principalmente ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), na qual abriu as portas, dando assim a oportunidade de dar sequência nos meus estudos, e me tornar profissional, e por conhecer pessoas que ficarão marcadas para sempre na minha vida, das quais pretendo levar as melhores lembranças.

Ao Professor e amigo Umberto Cordani, deixo aqui registrado a minha tamanha gratidão pelo apoio e dedicação, durante a minha graduação. Agradeço-o pela grande contribuição prestada na orientação, a atenção, incentivo, valiosos conhecimentos transmitidos e na ajuda primordial para a conclusão deste trabalho.

Agradeço a toda a família geologia, aos professores, funcionários, e alunos pelos bons momentos que me foram proporcionados, das quais guardarei em minha memória para o resto dos meus dias, em especial aos colegas de turma que me apoiaram e me deram suporte para continuar a minha luta durante todos esses anos, dos quais cito aqui: Victor (Pré), Guilherme (Sol), Danilo (Gonzo), Carolina (Michê), Gabriela (Mam's), Vitor (Tainá), Pedro Rosa, Lucas (Sal), Lucas (Marmota), Sara, Priscila, Pedro (Morsa), Giovanna (Fura), dentre outros tão importantes quanto, que não foram esquecidos.

Thyago de Oliveira da Silva, para ti cara poderia ficar aqui falando milhões de coisas que nos marcou, mas deixo aqui sacramentado meu grande amigo e irmão, os meus sinceros e profundos agradecimentos por todos os momentos excepcionais que tivemos. Formamos a dupla implacável nas conquistas dos campeonatos de pebolim (matraquilhos), que ficará marcada na nossa história dentro da geologia e nas lembranças das pessoas que tiveram a oportunidade de presenciá-las. Obrigado por tudo irmão e acredite que muitas conquistas ainda virão. Amizade como a nossa não se compra, se constrói.

Deixo o meu agradecimento aos times de futebol por onde tive a oportunidade de jogar. Fica registrado o meu obrigado ao Trupicada FC, na qual tive a oportunidade de ganhar mais do que medalhas e taças, fiz amizades sinceras e verdadeiras, e também ao Bosque MC.

A família africana, especialmente aos meus conterrâneos, fica o meu muito obrigado a todos, por terem me encorajado e apoiado nas horas em que mais precisei de cada um de vocês, dos quais cito: Suysia Ramos, Jeldes, Belinazir, Elvander, Ailton, Tâmara, dentre outras tão importantes quanto. Pela força e por terem substituído com louvor a minha família durante a nossa longa estadia na terra de Vera Cruz. Euridiney, mesmo em São Tomé, me apoiaste, e sabes que somos irmão para sempre.

Dedico este trabalho especialmente a minha filha Giovanna e a minha esposa Ester pelo amor, dedicação, compreensão e carinho, sem os quais não teria tido motivações e inspiração para continuar e finalizar a minha árdua tarefa. Vocês sempre foram as minhas musas inspiradoras. O meu amor por vocês é infinitamente maior que as Eras Geológicas.

Por fim, deixo registrado o amor a minha família, em especial aos meus pais e irmãos. Mãe, obrigada por teres feito de mim o homem que hoje me tornei, e quero te dizer que teu sonho virou realidade. Ao meu Pai, por tudo que fizeste por mim, e lembrarei sempre do homem digno e honesto. Aos irmãos Ramos Lopes, Heidy e Eliseu, quero dizer que vocês foram fantásticos e determinantes para tornar real este sonho que é de todos nós. Obrigado por terem me aturado durante todos esses anos, pela força, encorajamento, dedicação, constantes apoios e pelo amor expressado ao longo dessa caminhada, pois sem o qual não teria encontrado forças e estado de espírito para concluir com êxito esta jornada.

*Dedico este trabalho a minha família,
em especial a minha querida mãe Maria Teresa dos Ramos Soares de Barros,
a minha querida e amada filha Giovanna Dias Lopes,
e a minha querida esposa Ester Gomes Dias Lopes.*

SUMÁRIO

2. RESUMO	2
3. ABSTRACT	2
4. INTRODUÇÃO	3
5. METAS E OBJETIVOS	4
6. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	4
6.1 Geomorfologia	5
6.2 Geologia Regional	6
6.2.1 Complexo Vulcânico de São Tomé	8
6.2.2 Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso	9
6.2.3 Complexo Vulcânico de Mizambú	9
6.2.4 Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras	10
6.2.5 Rochas Sedimentares	10
6.3 Tectônica Regional	11
7. MATERIAIS E MÉTODOS	13
7.1 Método Sm/Nd	15
7.2 Métodos Rb/Sr e Sr/Sr	15
7.3 Fluorescência de Raios-X	16
7.4 Preparação de Amostras	16
8. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	17
9. RESULTADOS OBTIDOS	18
9.1 Descrições Petrográficas	18
9.1.1 Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras	18
9.1.2 Complexo Vulcânico de Mizambú	20
9.1.3 Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso	21
9.1.4 Complexo Vulcânico de São Tomé	24
9.2 Geoquímica Rb-Sr	26
9.3 Geoquímica Isotópica	27
10. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	31
10.1 Petrografia	31
10.2 Geoquímica Isotópica	31
11. CONCLUSÃO	33
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

2. Resumo

São Tomé é uma ilha de origem vulcânica localizada no Golfo da Guiné, costa ocidental do continente africano. A ilha de São Tomé associada a um conjunto de quatro ilhas faz parte do alinhamento tectônico denominado de Linha Vulcânica Camarões (LVC), com extensão de 1600 km de direção preferencial de NE a SW.

Dada a importância da Linha dos Camarões, esta tem sido considerada uma área privilegiada para comparação entre o vulcanismo de intraplaca oceânico e continental.

Foram definidas quatro unidades vulcânicas da sequência vulcanoestratigráficas, a quando da elaboração do mapa geológico da ilha de São Tomé que são a Formação Vulcânica Ilhéu das Cabras (13 Ma), Complexo Vulcânico Mizambú (6 a 8 Ma), Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso (2.5 a 5 Ma) e Complexo Vulcânica de São Tomé (<1.5 Ma).

O presente projeto consiste nas análises geocronológicas das rochas vulcânicas da ilha de São Tomé, através de trabalho de campo, com coleta de amostras e análises de geoquímica isotópica de Rb-Sr e de Sr e Nd em fonolito, tefritos fonolíticos, traquitos, basaltos e basanitos no intuito de caracterizar a origem das fontes de seus magmas precursores.

Estudos de geoquímica isotópica mostraram que a ilha de São Tomé encontra-se situada dentro do campo do componente mantélico HIMU, sendo que suas rochas são provenientes da fonte MORB, derivadas de magmas empobrecidos originários do manto superior.

3. Abstract

São Tomé is an island of volcanic origin located in the Gulf of Guinea, west coast of Africa. São Tomé island associated with a set of four island is part of alignment known as Cameroon Volcanic Line (CVL), extending 1600 long from preferred direction from NE to SW. Given the importance of the Cameroon Line, this has been considered a prime area for comparison between oceanic intraplate volcanism and continental.

Field work for the edition of a geological map of São Tomé island, led to the definicion of the volcanostratigraphy sequence of the island with four main volcanic units who are the Volcanic Formation of Cabras islet (13 Ma), the Mizambú Volcanic Complex (6 to 8 Ma), the Ribeira Afonso Volcanic Complex (2.5 to 5 Ma) and the São Tomé Volcanic Complex (<1.5 Ma). This project consist of the geochronological analysis of the volcanic rocks of the island of São Tomé, through field work, with sample collection and analysis of isotopic Rb-Sr an Sr Nd in phonolite, tephrite phonolitic, trachyte, basalts and basanites in the order to characterize the source of their magma sources of precursors.

Isotopic studies have shown that the rocks of the São Tomé island are located near the field of the MORB sources, derived from depleted upper mantle origin.

4. Introdução

O arquipélago de São Tomé e Príncipe situado no Golfo da Guiné distam aproximadamente a 300 km da costa ocidental da África, faz parte uma série de complexos vulcânicos da “Linha dos Camarões” (Fitton, 1980), uma cadeia vulcânica com extensão de 1600 km, que se adentra no continente africano com direção NE-SW, até o planalto de Biu (Nigéria). Inclui as ilhas de Pagalu (anteriormente Ano-Bom), e de Bioko (anteriormente Fernando Pó), nas fronteiras entre as litosferas oceânica e continental (Emery & Uchupi, 1984), como observado na figura 1.

A origem tectono-magmáticas da LVC tem sido seriamente discutida, mas ainda é objeto de controvérsia entre diversos autores e investigadores.

Pelos trabalhos realizados anteriormente, sabe-se que a ilha de São Tomé é constituída essencialmente por derrames de lava e depósitos piroclásticos, de natureza basáltica (Munhá *et al.*, 2002). Também ocorrem complexos mais antigos com rochas basálticas similares, associadas á rochas traquíticas e fonolíticas, constituindo domos e chaminés.



Figura 1. Alinhamento dos Camarões.

Sabe-se que em áreas vulcânicas não é possível fazer uso dos métodos normais de correlação estratigráfica para reconstruir a história da geologia regional. As unidades cartografadas de rochas vulcânicas apresentam geometrias particulares, recorrentes ao longo do tempo, e podem ser provenientes de diferentes magmas, com características próprias e específicas. Daí a importância de análises de geoquímica isotópica de Sr e Nd, para correlacionar as unidades vulcânicas, estabelecendo a natureza de possíveis fontes.

5. Metas e Objetivos

A realização de estudos de geoquímica isotópica em rochas das quatro unidades geológicas da ilha de São Tomé tem como finalidade a determinação das correlações geoquímicas entre as unidades rochosas e a obtenção das fontes mantélicas dos seus magmas precursores, dando uma contribuição ao conhecimento dos processos vulcânicos do arquipélago.

Nas rochas coletadas durante os estudos de campo realizados na região foram realizados estudos petrográficos e de geoquímica isotópica em Rb/Sr e de Sr e Nd.

O tema escolhido tem como relevância a carência de dados de geoquímica isotópica, que possibilitariam uma comparação entre as diversas unidades vulcânicas da ilha. Até o presente não eram conhecidos resultados analíticos desse tipo no Arquipélago de São Tomé e Príncipe, de modo que, o presente trabalho apresenta dados inéditos para a elaboração de artigos que poderão ser submetidos em revistas internacionais. Este trabalho visa demonstrar resultados obtidos em estudos de geoquímica isotópica no projeto de trabalho de formatura.

6. Fundamentação bibliográfica

O conhecimento geológico do arquipélago de São Tomé e Príncipe deve-se a diversos trabalhos de instituições portuguesas, desde a década de 1940, até os anos 60, e mais recentemente aos trabalhos realizados a partir de 1994, sob os auspícios da cooperação entre o governo Santomense, através de sua Direcção Geral de Recursos Naturais e Energia, o Instituto de Investigações Científicas Tropicais de Portugal, e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Entre os principais resultados dessa cooperação encontra-se a cartografia geológica detalhada da maior parte da Ilha de São Tomé. Os resultados desses estudos geológicos foram publicados por Munhá *et al.* (2002). Além disso, foram editadas quatro folhas geológicas na escala 1 : 25000, cobrindo a maior

parte da ilha, com exceção da região sudoeste. Como resultados adicionais desses estudos geológicos podem ser destacados os trabalhos de Caldeira *et al.* (2003), e Caldeira (2006).

Na literatura internacional, a ilha de São Tomé tem sido objeto de vários estudos, já há algumas décadas, devido às investigações desenvolvidas a respeito da “Linha Vulcânica dos Camarões (LVC)”. Dados isotópicos e informações geocronológicas foram obtidos, por exemplo, por Fitton & Dunlop (1985); ou Halliday *et al.*, (1988, 1990). As ilhas de São Tomé, Príncipe e Ano-Bom integram esta feição tectônica maior, com direção preferencial de NE para SW, e se assentam sobre crosta oceânica com idades inferiores a 130 Ma. A LVC inclui a ilha de Bioko (Fernando Pó), situada entre as litosferas oceânica e continental.

Do Terciário ao presente, a intensa atividade magmática que caracteriza a LVC sobreposta a uma região de manto astenosférico anômalo, insere-se em um mecanismo de rifteamento ativo (Fitton, 1983), o que sugere uma reminiscência dos processos de fragmentação continental e oceânica iniciados no Cretáceo inferior no Atlântico Sul (Fitton, 1983; Halliday *et al.*, 1988).

À semelhança das outras ilhas que compõem o alinhamento dos Camarões, São Tomé é fundamentalmente de origem basáltica, com algumas ocorrências de natureza predominantemente traquítica a fonolítica, sendo que na região nordeste da ilha há um domínio por cones vulcânicos, derrames de lava e materiais piroclásticos subaéreos, predominantemente basálticos. A atividade vulcânica reflete diversos ciclos eruptivos, sendo os mais recentes responsáveis pela maioria das rochas aflorantes. Sedimentos mais jovens capeiam as rochas basálticas nas zonas mais baixas da ilha (Munhá *et al.*, 2002).

6.1 Geomorfologia

São Tomé localiza-se entre as latitudes 0°24'40"N-0°00'02"S, 6°28'19"E-6°45'00"E, e dista a 150 km a SSW da ilha do Príncipe e a 300 km do continente africano, possuindo uma área aproximada de 857 km², com 48 km de eixo maior e 34 km de eixo menor (Munhá *et al.*, 2007), sendo que a linha do Equador atravessa o Ilhéu das Rolas situado a sul da ilha.

A ilha do Príncipe localiza-se a 1°32'N-1°43'N, 7°20'E-7°28'E, a 210 km SSW de Bioko, e a 220 km do continente, com uma área aproximada de 139 km², bastante montanhosa no extremo sul, sendo os pontos de maiores destaques o pico de Príncipe (948 m), e pico do Papagaio (680 m). O rio de maior importância na ilha do Príncipe é o Rio Papagaio (Jones *et al.*, 1991).

O arquipélago de São Tomé e Príncipe associado a inúmeros ilhéus formam a República Democrática de São Tomé e Príncipe, que possuem florestas úmidas primitivas, denominada de obô, e fauna diversificada, entrecortada por vários cursos de água, notáveis pelos altos níveis de endemidade tanto na flora quanto na fauna, que advêm da sua longa

evolução sem contato com o continente africano (Jones *et al.*, 1991). As duas ilhas centrais fazem parte de um grupo de quatro ilhas que cortam na diagonal o Golfo da Guiné, e representam à parte sul de uma série de vulcões do Terciário até os tempos atuais da Linha dos Camarões. O clima tropical e a natureza dos solos favorecem o desenvolvimento da cobertura vegetal muito densa, gerando formações herbáceas constituídas de árvores e arbustos dispersos (Cardoso & Garcia, 1962), sendo que o solo originário de rochas ígneas é fértil e de extrema importância para a plantação agrícola desenvolvida nas ilhas.

A rede hidrográfica apresenta uma disposição radial caindo abruptamente, onde se formam os principais rios como Rio D'ouro, Paga Fogo, Contador, Maria Luiza e Manuel Jorge localizados na região setentrional; Rio Malanza situado na região Meridional; Rio Abade, Mussacavú, Caué, Ribeira Afonso e Ió Grande que é o maior de todos, situados na região central, sendo que nenhum destes é navegável.

Percorrendo as ilhas, embrenhado em umas vegetações exuberantes, entrecortadas por numerosos cursos de água e riachos, observa-se um relevo acidentado e de altitude diferenciada, onde se destacam os principais relevos residuais, como o pico de São Tomé (2024 m) na região setentrional, Charutos (1349 m), Oculto (1168 m), Formoso Grande e Pequeno (~948 m) na região central, dentre outros, constituindo uma referência de paisagem local.

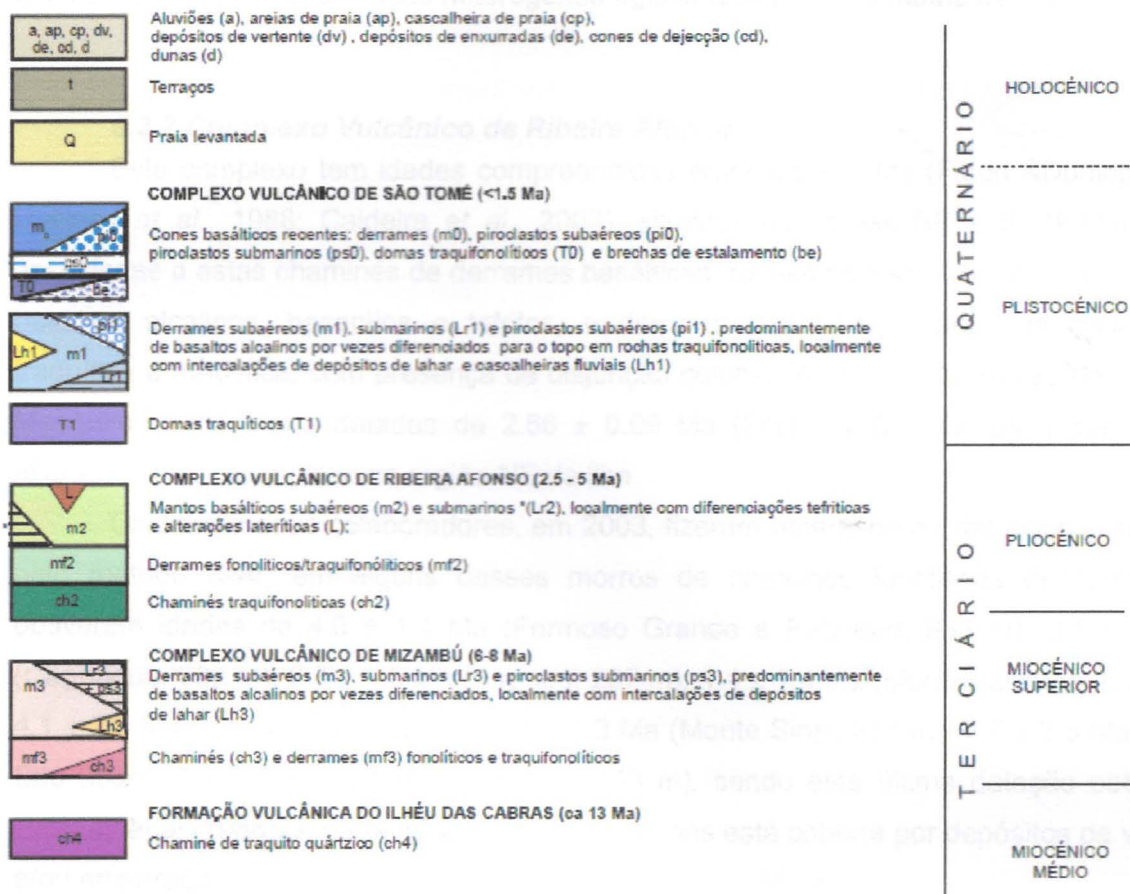
São Tomé tem um clima condicionado pelo relevo acidentado e a temperatura anual varia em média 26 °C e com duas principais estações, a de tempo chuvoso durante quase todo o ano, com exceção de um período que vai de Dezembro a Fevereiro chamado de gavanita, e outra estação que vai de Junho a Setembro caracterizado por um período com baixo nível de pluviosidade denominado de gravana.

6.2 Geologia Regional

A quando da elaboração do mapa geológico da ilha de São Tomé, observada na figura 2 abaixo, foram definidas quatro principais unidades vulcânicas, e associados a estas, estão os sedimentos que as intercalam e capeiam.

A hierarquia destas unidades foi definida com base nas relações de campo, geomorfologia e datações. São Tomé se assemelha as outras ilhas que representam o alinhamento vulcânico dos Camarões, de natureza essencialmente basáltica, mas com termos mais evoluídos, de composição predominantemente fonolítica a traquítica.

Estão representadas abaixo algumas datações realizadas por diversos autores nas rochas da formação e complexos vulcânicos da ilha de São Tomé (tabela 1). Assim sendo, estão apresentadas, resumidamente, as principais características desses complexos e formação, consoante as suas idades relativas, de mais nova para mais antiga.



Legenda do mapa geológico da Ilha de São Tomé (retirado de Caldeira, 2006).

6.2.1 Complexo Vulcânico de São Tomé

Este complexo representa a unidade vulcânica mais nova, com idade inferior a 1.5 Ma, abrangendo a maioria da região norte e o extremo sul da ilha de São Tomé.

A fase mais antiga do complexo encontra-se representada por dois domos traquíticos, sendo estes, São José com 1.3 ± 0.08 Ma (Fitton & Dunlop, 1985) e Oquê-Bobô, apresentando-se bastante alteradas. As datações, pelo método K-Ar, feitas para as rochas das regiões de Ponta Figo e Contador, admitem considerar duas sequências de derrames basálticos, a inferior com idades 0.7 ± 0.1 Ma e 0.6 ± 0.04 Ma, e a superior com 0.4 ± 0.1 Ma (Munhá *et al.*, 2002). A fase mais recente do complexo Vulcânico de São Tomé corresponde a um conjunto de cones vulcânicos com idades K-Ar mais jovens do que 0.4 Ma (Halliday *et al.*, 1988; Munhá *et al.*, 2002). Associadas a estas unidades vulcânicas estão às nascentes de água gaseificada definindo alinhamentos NE-SW e NNE-SSW. A região NNE, mais especificamente no Morro Peixe é representada por um cone piroclástico, constituído por acumulações de bombas, lapilli e cinzas, associados a lavas escoriáceas. O Morro

Muniqui é originário de material piroclástico, constituindo um aglomerado vulcânico com blocos e bombas de granulação heterogênea aglutinados por uma matriz de lapilli.

6.2.2 Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso

Este complexo tem idades compreendidas entre 2.5 e 5 Ma (Fitton & Dunlop, 1985; Halliday *et al.*, 1988; Caldeira *et al.*, 2003), situadas nas áreas SE e S da ilha. Estão associadas a estas chaminés de derrames basálticas, rochas diversas tais como limburgitos, basaltos alcalinos, basanitos e tefritos, e derrames de lavas félsicas de composição traquítica e fonolítica, com presença de disjunção colunar. As rochas da região de Palmar - Mesquita - Boa Morte datadas de 2.66 ± 0.09 Ma (Fitton, 1987) são as únicas rochas aflorantes deste complexo na região NE da ilha.

Caldeira e seus colaboradores, em 2003, fizeram uma série de datações (Tabela 1), pelo método K-Ar, em alguns desses morros de chaminés fonolíticas descarnadas e obtiveram idades de 4.6 ± 1.4 Ma (Formoso Grande e Pequeno, 938 m), 3.1 ± 1.4 Ma (Cagungué, 682 m), 2.7 ± 1.5 Ma (Angobó, 207 m), 4.4 ± 1.4 Ma (Morro Azeitona II, 247 m), 4.1 ± 2.8 Ma (Pico Macuru, 338 m), 4.4 ± 1.3 Ma (Monte Sinai, 251 m), 4.7 ± 2.5 Ma (Morro São João, 339 m) e 3 Ma (Cão Grande, 663 m), sendo esta última datação obtida por Halliday *et al.* (1988). A parte inferior destas chaminés está coberta por depósitos de vertente e/ou enxurrada.

6.2.3 Complexo Vulcânico de Mizambú

Este complexo ocorre na região centro e sul da ilha, sendo registrado em três regiões tais como, Mizambú, Micondó e Capitango, constituído essencialmente por chaminés e derrames subaéreos fonolíticos e traquifonolíticos, derrames subaéreos basálticos com intercalação de depósitos de lahar, derrames e piroclastos basálticos submarinos, sendo que este complexo data de 6 a 8 Ma (Caldeira *et al.*, 2003).

O nome do Complexo advém do edifício Mizambú (505 m de altitude) constituído por chaminé traquifonolítica, e data de 7.6 Ma (Fitton & Dunlop, 1985). O Morro Micondó (355 m) é constituído por traquifonolito, onde os derrames basálticos são parcialmente cobertos por depósitos de vertente, e é datada de 7.5 ± 2.1 Ma (Caldeira *et al.*, 2003).

No morro Azeitona I os derrames de composição basáltica alcalina a basanítica, na base, são datados de 7.9 ± 1.1 Ma (Fitton & Dunlop, 1985). Foi obtida a idade de 6.4 Ma na datação de um dos diques da região do Morro Macaco Capitango (Fitton & Dunlop, 1985) e interpretada por Caldeira (2003), como sendo a idade mínima para os derrames basálticos do Complexo Vulcânico de Mizambú.

6.2.4 Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras

Na ilha de São Tomé, a unidade vulcânica mais antiga foi datada pelo método K/Ar de 13 Ma (Fitton & Dunlop, 1985), que corresponde aos traquitos quartzíferos que constituem o Ilhéu das Cabras, localizado a NE de São Tomé (Teixeira, 1949; Neiva 1956). O ilhéu das Cabras é constituído por dois picos com extensão de 1 km por 250 m de largura, alinhados na direcção NE-SW, dos quais o que se situa a nordeste atinge 80 m de altitude. O ilhéu representa um ou dois condutos vulcânicos dos primórdios da edificação da ilha de São Tomé que resistiu a erosão devido à estrutura maciça da rocha (Munhá *et al.*, 2007).

6.2.5 Rochas Sedimentares

Na realização dos estudos efetuados na ilha de São Tomé para a confecção da carta geológica da ilha por Munhá *et. al.* (2007), foram também cartografadas importantes depósitos sedimentares de cobertura de idades Holocénicas e Plistocénicas.

Os principais depósitos sedimentares são resultantes da deposição fluvial, onde tem uma representação desde o extremo norte da Baía de Ana Chaves na cidade de São Tomé até o limite de S. Marçal, com importante cobertura aluvial alimentada pelos principais rios dessa região como os rios Marçal, Água Simão, Água Grande e Guéque, fazendo estes, parte do Distrito de Água Grande a NE da ilha.

Os sedimentos de praias estão distribuídos nas regiões costeiras, constituídos essencialmente por areias escuras (pretas) e claras (amarelas), com variações zonais, onde as frações claras correspondem a bioclastos resultantes da fragmentação de conchas de moluscos, carapaças e espículas de equinodermes e de recifes de corais, e a fração mais escura atribuído a litoclastos de rochas vulcânicas e a minerais pesados provenientes da degradação das rochas vulcânicas.

Os cascalhos de praias são constituídos por calhaus bem arredondados, provenientes essencialmente de rochas basálticas, e geralmente estão associados às areias pretas, onde as principais praias com essas características são as de Santa Catarina, Paga Fogo e de uma extremidade que vai da Praia Moça a Diogo Vaz, e das Praias das conchas à Praia Guéque.

Os depósitos de vertente de maior expressão da ilha encontram-se na região central, mais especificamente em Monte Castro, e de SE a S as vertentes circundantes localizam-se nos picos de Maria Fernandes e Cagungué e nas imediações de Mizambú e do Formoso Pequeno e se estende a sul até o rio Ió Grande. Na vertente norte e oeste, esses depósitos estão localizados nas regiões dos rios Abade e Caué e nas zonas circundantes de Sintra respectivamente. Há também presença de depósitos de enxurradas em algumas regiões da ilha.

6.3 Tectônica Regional

A ilha de São Tomé apresenta um sistema de fraturas que estão associadas às características manifestações ligadas ao alinhamento vulcano-tectônico da Linha dos Camarões (Déruelle *et al.*, 1987, 2007; Moreau *et al.*, 1987). Como já fora observado, estas grandes fraturas podem estar intimamente relacionadas ao fenômeno tectônico do processo de abertura do Atlântico equatorial (Morgan, 1983; Duncan, 1981).

São identificadas três direções principais de fraturamento na ilha de São Tomé, observadas através de fotos aéreas e imagens de satélites. A principal se dá segundo NE-SW, coincidente com o alongamento da ilha em direção à CVL, e as outras na direção N-S e NNW-SSE, com ocorrência mais restrita de fraturas NW-SE. No âmbito do sistema de fraturação de direção preferencial NE-SW, há que ressaltar a ocorrência da falha de Pedroma que tem sua continuidade a norte da falha de Ubabudo, responsável pela provável estrutura em “horst” que fez aflorar o gnaiss quartzítico do Cretáceo (Teixeira, 1949). O sistema de falhas NNW-SSE localiza-se nas zonas de Palmar e Mesquita, que delimita uma provável estrutura em “horst” responsável pelo afloramento de basaltos do Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso. Nestes dois sistemas de falhas registra-se o alinhamento das nascentes de água gaseificada em diversas regiões da ilha. Essas nascentes de água gasocarbonáticas refletem as reminiscências residuais de atividades magmáticas representada pelo Complexo Vulcânico de São Tomé, uma vez que não são conhecidas erupções vulcânicas recentes na ilha.

Tabela 1. Datações de rochas de S.Tomé (Compilação por Caldeira, 2006).

LITOLOGIA	AMOSTRA	LOCAL	IDADE (Ma)	REF.
traquito		Ilhéu das Cabras	15.7 ± 0.80	(1)
traquito	ST57		13.25 ± 0.45	(2)
			12.88 ± 0.47	
traquito	ST97-79	M. Azeitona I	7.9 ± 1.1	(6)
traquito	ST84	Mizambú	7.64 ± 0.16	(2)
			7.56 ± 0.16	
basanito	ST97-50		6.7 ± 1.3	(6)
fonólito	ST97-55	Micondó	7.5 ± 2.2	(6)
hawaiiito	ST96	P. Capitango	6.37 ± 0.15	(2)
			6.42 ± 0.20	
fonólito	ST98-56	M. S. João (F5)	4.7 ± 2.5	(6)
fonólito	ST98-31	Formoso G.	4.6 ± 1.4	(6)
fonólito	ST98-25	Azeitona II	4.4 ± 1.4	(6)
traquifonólito	ST98-52	Mt. Sinai	4.4 ± 1.3	(6)
fonólito	ST98-10	Pico Macuru	4.1 ± 2.8	(6)
nr		nr	3 - 4	(4)
fonólito	ST98-38	Macongo/Observ.	3.9 ± 1.4	(6)
tefrito	ST97-68	M ^a Fernandes	3.9 ± 0.2	(6)
fonólito	ST90		3.30 ± 0.09	(2)
			3.22 ± 0.08	
fonólito	ST98-46	Cagungué	3.1 ± 1.4	(6)
fonólito	ST10	Cão Grande	3	(3)
traquifonólito	ST97-82	M ^a Isabel	2.9 ± 1.9	(6)
fonólito	ST97-61	Angobó	2.7 ± 1.5	(6)
basanito	ST44	Palmar	2.66 ± 0.09	(2)
			2.39 ± 0.10	
nr			2 - 3	(4)
traquito	ST43	Mt. Café	1.35 ± 0.08	(2)
			1.29 ± 0.07	
basalto	ST96-6	Ponta Figo	0.7 ± 0.1	(5)
basalto	ST96-28	Contador	0.6 ± 0.04	(5)
basalto	ST60	Água Izé	0.51 ± 0.06	(2)
basalto	ST96-9	Ponta Figo	0.4 ± 0.1	(5)
nr	nr	nr	< 1	(4)
basalto	ST97-14	S. Nicolau	0.3 ± 0.1	(6)
basanito	ST94-10	Plateau	< 0.4	(5)
basanito	ST94-65	Diogo Nunes	< 0.4	(5)
basanito	ST19	Morro Carregado	0	(3)
basalto alc.	ST107	nr	0	(3)

- (1) Granau *et al.*, 1975; (2) Fitton & Dunlop, 1985; (3) Halliday *et al.*, 1988; (4) Hedberg, 1968 in (2) e Fitton, 1987; (5) Munhá *et al.*, 2002; (6) Caldeira *et al.*, 2003; nr – não referido, (retirado de Caldeira, 2006).

7. Materiais e Métodos

Foi realizado um trabalho de campo em Janeiro/Fevereiro de 2010 para efetuar um estudo de reconhecimento geológico dos afloramentos da região em estudo e também para coleta de amostras das principais unidades vulcânicas da ilha. Foi também disponibilizado para os estudos desta pesquisa um conjunto de amostras de rochas em pó e lâminas delgadas pela Professora Rita Caldeira como já fora mencionado acima. As amostras disponibilizadas foram utilizadas em sua tese de doutorado, servindo de referência principal para este Trabalho de Formatura.

As amostras disponíveis estão representadas no mapa de pontos (figura 3), e foram preparadas para análises de geoquímica isotópica, e utilizados os isótopos de Estrôncio (Sr) e Neodímio (Nd) para basaltos, basanitos, traquito e fonolitos, no intuito de identificar as fontes de seus magmas precursores. Além disso, foram utilizados os isótopos Rubídio (Rb) e Estrôncio (Sr), no caso dos fonolitos, para melhoraria do conhecimento já existente sobre a idade dessas rochas

As etapas de trabalho desenvolvidas pelo aluno foram supervisionadas pelo orientador e pelos técnicos de Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) do instituto, onde foi realizada a pesquisa. Cada um dos métodos acima referido encontra-se descrito resumidamente abaixo.



Figura 3. Mapa de localização das amostras selecionadas para estudo de Geoquímica Isotópica (retirado e modificado de Caldeira, 2006).

7.1 Método Sm/Nd

Os elementos Sm e Nd fazem parte do grupo dos chamados Elementos das Terras Raras (ETR) e são ambos caracterizados por possuírem propriedades químicas e físicas muito semelhantes. A principal diferença entre eles reside nos seus respectivos raios iônicos.

Num processo de diferenciação manto-crosta, o material siálico ou crustal é mais enriquecido em Nd do que em Sm, resultando numa razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ maior que 0.1967, valor da razão $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (atual) avaliada para o manto terrestre. Os minerais mais fortemente fracionados por Sm e Nd são os anfibólios, os clinopiroxênios e as granadas.

Os isótopos ^{147}Sm decai para ^{143}Nd com uma meia vida de 106 Ga, com as variações na quantidade ^{143}Nd radiogênico muito pequenas. A razão $^{147}\text{Sm}/^{143}\text{Nd}$ se modifica durante a diferenciação manto-crosta, e com isso, permite calcular idades dos protólitos que se diferenciaram no manto superior. Essa indicação é realizada segundo um parâmetro conhecido como ϵ_{Nd} que compara a razão de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ da amostra com a do CHUR. Quando os resultados tenderem a números maiores que zero significa que a origem da rocha é de fonte mantélica e com pouco tempo de residência crustal, e quando tenderem a números negativos significa que a origem é de fonte crustal com maior tempo de residência crustal.

O conceito da Idade Modelo no método Sm/Nd calculados pelas isócronas apresentam-se maiores que as idades obtidas por outros métodos. Isto tem levado a interpretação das idades de Sm/Nd como sendo a época da diferenciação do material no manto (DePaolo, 1981; Hofmann et al. 1986), podendo ser um manto primitivo ou um manto empobrecido em elementos litófilos leves, designado Depleted Mantle (DM).

A relação entre as razões isotópicas de Sr e Nd revela uma assinatura da evolução do manto. Assim sendo, ao combinarmos diagramas de Sr e Nd pode-se discriminar se os componentes geradores das rochas são provenientes do manto, da crosta inferior e superior (crostas juvenis ou retrabalhadas), ou da interação dessas fontes.

7.2 Métodos Rb/Sr e Sr/Sr

Este método isotópico é muito utilizado na geocronologia, pois é possível datar rochas de diferentes idades, tanto as jovens quanto as mais antigas. Sabe-se que o Rb não é um elemento comum na natureza, e aparece associado aos minerais que contêm potássio na sua composição química, como são os casos dos feldspatos, micas, piroxênios, olivinas, anfibólios, etc. Ocorre também nesses minerais o ^{86}Sr na sua forma original, sendo que este deve ser determinado como parte do processo de datação, pois essa quantidade deve ser subtraída no processo de determinação da idade da rocha, para evitar erros, não sendo este

originário do decaimento radioativo ^{87}Rb contido na rocha. O ^{87}Rb é um isótopo radioativo que decai para ^{87}Sr , com meia vida de aproximadamente 48,8 Ga.

A datação de uma rocha pelo método Rb/Sr é calculada pela relação entre os elementos pai e elementos filho, sendo esta uma idade convencional, ideal para rochas com minerais supracitados ricos em rubídio. O ^{86}Sr não radiogênico é facilmente detectado com a determinação da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; uma vez que a quantidade de ^{86}Sr na rocha não sofre mudanças com o passar do tempo.

As análises de Rb/Sr são geralmente feitas em Rocha Total (RT), podendo esta ser feita também em minerais individuais, e interpretada mediante a construção da isócrona, sendo assim necessárias estudos de várias rochas cogenéticas de um mesmo corpo rochoso, que apresenta entre si variações na razão $\text{Rb}_{\text{total}}/\text{Sr}_{\text{total}}$. Sabe-se que a razão $\text{Rb}_{\text{total}}/\text{Sr}_{\text{total}}$ é obtida através dos dados de fluorescência de raios-X.

Após serem selecionadas amostras que gerou melhor espalhamento na fluorescência, no laboratório, é determinado o tipo de análise a ser feita para cada amostra, sendo que, amostras com teores de Rb e/ou Sr $< 50\text{ppm}$ e $> 650\text{ppm}$ serão feitos pelo método de diluição isotópica e para os de teores $> 50\text{ppm}$ e $< 650\text{ppm}$ pelo método Natural. O funcionamento do método Sr/Sr é feito de forma similar ao Rb/Sr, entretanto não é necessário conhecer a quantidade de isótopos de Rb existente na amostra, basta saber apenas a quantidade de isótopos de Sr.

7.3 Fluorescência de Raios-X

A espectrometria de fluorescência de raios-X é uma técnica não destrutiva que permite a identificação dos elementos presentes numa amostra e a porção quantitativa desses elementos, possuindo uma grande precisão em suas análises. As metodologias utilizadas na preparação de amostras na fluorescência de raios-X são as de pastilhas de pó pressionado (PPP) e pastilhas fundidas (PGD), com suas respectivas vantagens.

Foram feitas as análises de fluorescência de raios-X com o objetivo de selecionar as amostras com razões Rb/Sr elevadas para fazer datações Rb-Sr, pelo método convencional, e também para possibilitar as devidas correções nos cálculos das razões iniciais $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Rb}$, levando em conta o teor de Rb.

7.4 Preparação de Amostras

As amostras de rochas coletadas em campo foram em quantidades suficientes para a realização das análises isotópicas e confecção de lâminas petrográficas. Acrescentou-se um total de 5 amostras que foram preparadas em conjunto com as amostras cedidas pela

professora Rita Caldeira para as análises laboratoriais. As amostras selecionadas foram preparadas no laboratório de separação de amostras do Centro de Pesquisa Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (CPGeo-IGc-USP), e seguiram as seguintes etapas:

a. Manualmente as amostras foram reduzidas em tamanhos menores com auxílio de martelo e britadas em seguida. Posteriormente a britagem das mesmas, seguiu-se a seleção dos pedaços de rochas sem alteração intempérica para uma moagem manual em um pilão de ferro, até atingirem um tamanho máximo de 1 cm.

b. Depois de moídas, as amostras foram levadas dentro de uma capsula para uma nova redução, num moinho de bola de tungstênio durante 30 minutos até atingir a fração argila, processo esse chamado de pulverização.

c. Posteriormente a essa primeira fase laboratorial, as amostras foram levadas para outros laboratórios de pesquisa da geocronologia e daí seguiu-se os procedimentos para cada método, dentro dos parâmetros de cada um dos laboratorios geocronológicos do instituto, sendo que deste processo foram determinadas suas respectivas idades e fontes mantélicas.

8. Desenvolvimento do Trabalho

Na etapa final deste trabalho realizada durante o ano letivo, foram desenvolvidas as atividades supracitadas no cronograma elaborado para o presente trabalho de formatura (tabela 2). No trabalho de campo foi realizados estudo de reconhecimento da região estudada, com consequente coleta de amostras que foram preparadas para confecção de lâminas petrográficas, com objetivo de efetuar estudos de petrografia microscópica das rochas, e também preparadas para realização de estudos de geoquímica isotópica nos laboratórios de geocronologia.

Tabela 2. Cronograma das atividades desenvolvidas.

Atividades Realizadas	Jan/ Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Trabalhos de campo											
Elaboração do Projeto Inicial											
Revisão bibliográfica											
Estudos petrográficos											
Preparação de amostra para análise											
Análises de geoquímica isotópica											
Relatório de progresso											
Tratamentos de dados geoquímicos											
Conclusão e entrega da monografia											
Apresentação											

A revisão bibliográfica ocorreu durante todo o processo de elaboração da monografia para um melhor entendimento do trabalho como um todo. Neste período de tempo, foram elaborados e entregues dois relatórios, sendo primeiro relatório inicial, onde constavam os principais objetivos e metas a serem atingidas, sendo o segundo o relatório de progresso, apresentado a evolução do trabalho desde a confecção e entrega do relatório inicial, já com algumas considerações relevantes. Os referidos relatórios foram entregues em Março e Agosto respectivamente. Assim sendo, foram feitas as interpretações preliminares das rochas, com base nos dados obtidos nas descrições das lâminas petrográficas. Discorremos também acerca dos resultados obtidos, e foram apresentados os dados de geoquímica isotópica das amostras analisadas.

A quando da confecção da presente monografia, a dificuldade principal foi o atraso com que o laboratório de geocronologia entregou as análises de geoquímica isotópica, devido à sobrecarga de trabalho, o que acarretou na não obtenção de análise de algumas amostras selecionadas para essa pesquisa. Houve também dificuldades de logística com relação à coleta de amostras adicionais em São Tomé, por falta de financiamento.

9. Resultados Obtidos

9.1 Descrições Petrográficas

Foram efetuados no presente trabalho, estudos de lâminas petrográficas das amostras de rochas da formação e complexos vulcânicas de diversos afloramentos da ilha de São Tomé, que foram coletadas em janeiro/fevereiro do ano em curso. Além disso, foram também agrupadas a estas, amostras de lâminas delgadas cedidas pela Professora Rita Caldeira da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, para as devidas comparações e classificações (Tabela 3).

9.1.1 Formação Vulcânica do Ilhéu das Cabras Traquito

Rocha holocristalina de textura porfiritica, composta mineralogicamente por feldespato (80%), quartzo (13%), biotita (6%) e zircão (1%), com presença de minerais traços como monazita, titanita e opacos. Os cristais ripiformes de plagioclásio formam a matriz fina da rocha, com alguns fenocristais com dimensão de até 4 mm, bastante alterados, com alguns cristais serissitizados, apresentando-se geminados, com inclusão de monazita e opacos. Os fenocristais de quartzo são subeuédricos, extinção ondulante indicando deformação por eventual esforço sofrido. A biotita está levemente alterada, associada aos feldspatos e opacos. Na rocha aparecem xenólitos (figura 9.1.1) de matriz

fina, com pouca olivina e muitos opacos. A rocha apresenta um grau de alteração moderadamente alta, dificultando na diferenciação entre feldspatos.



Figura 9.1.1. Seção delgada de traquito mostrando inclusões de xenólitos em plagioclásios (polarizador cruzado em objetiva de 4x).

Tabela 3. Amostras selecionadas para análises.

Amostra	Litologia	Localização	Unidades	Observações
ST98-10	Tefrito fonolítico	Morro Macuru	C.V. Ribeira Afonso	Chaminé
ST98-25	Tefrito fonolítico	Morro Azeitona II	C.V. Ribeira Afonso	Chaminé
ST98-38	Tefrito fonolítico	Observatório	C.V. Ribeira Afonso	Lava
ST98-46	Fonolito	Cagungué	C.V. Ribeira Afonso	Chaminé
ST98-52	Tefrito fonolítico	Monte Sinai	C.V. Ribeira Afonso	Chaminé
ST96-22	Basanito	Morro Macaco	C.V. S.Tomé	Lava
ST99-7	Basalto	Rio Contador	C.V. S.Tomé	Lava
ST99-9	Basanito	São João	C.V. Ribeira Afonso	Lava
ST99-22	Basanito	Cão Pequeno	C.V. Ribeira Afonso	Lava
ST97-47	Basanito	Mizambu	C.V. Mizambú	Lava
ST97-108	Basalto	Morro Azeitona I	C.V. Mizambú	Lava
ST99-19	Basanito	Ilhéu das Rolas	C.V. S.Tomé	Lava
ST-CVM I	Basanito	Mizambú	C.V. Mizambú	Lava
ST-CVST III	Piroclasto/basanito	Morro Peixe	C.V. S.Tomé	Lava
ST-CVST IV	Basalto	Praia Guêgue	C.V. S.Tomé	Lava
ST-CVST VI	Basanito	Mesquita	C.V. Ribeira Afonso	Lava
ST-FVIC V	Traquito	Ilhéu das Cabras	Fm.V. Ilhéu das Cabras	Lava

C.V. – Complexo Vulcânico

Fm. V. – Formação Vulcânica

9.1.2 Complexo Vulcânico de Mizambú

Basalto

Rocha hipocristalina de textura porfirítica, inequigranular, de composição mineralógica formada por plagioclásio (50%), piroxênio (20%), olivina (12%), vidro (10%), opacos (7%), serpentina (1%) e carbonato (<1%), sendo os dois últimos, minerais acessório e traço respectivamente. Os fenocristais euédricos a subeuédrico de olivina estão alterados nas fraturas por serpentina levemente esverdeada (alteração hidrotermal), estando alguns destes fenocristais substituído totalmente por serpentina (pseudomorfos de olivina). O piroxênio augítico está presente na matriz e também como fenocristais euédricos a subeuédricos zonados, com extinção concêntrica ondulante, geminados, englobando cristais ripiformes de plagioclásio, gerando a textura ofítica (figura 9.1.2) da rocha. O plagioclásio (labradorita) não tem orientação preferencial, e encontra-se associado ao vidro intersticial, e opacos formando a matriz fina da rocha.

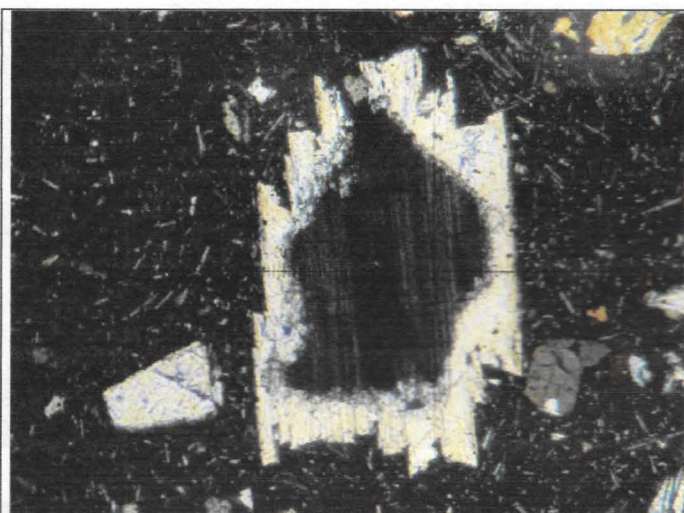


Figura 9.1.2. Seção delgada de um basalto exibindo a textura ofítica (polarizador cruzado em objetiva de 10x).

Basanita

Rocha hipocristalina de textura porfirítica, inequigranular de matriz fina a muito fina, composta por plagioclásio (46%), piroxênio (20%), olivina (15%), vidro (10%), opacos (7%) e carbonato (2%). Os cristais de plagioclásio ripiformes de granulação muito fina com vidro acastanhado nos seus interstícios formam a matriz da rocha juntamente com pequenos cristais de piroxênio (augita) e opacos. Os fenocristais de olivina e piroxênio são euédricos a subeuédricos, estando a olivina bastante fraturado com grãos arredondados, e piroxênio zonado.

9.1.3 Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso Basanito

Rocha hipocristalina de textura porfírica, inequigranular de matriz fina a muito fina, composta por plagioclásio (40-45%), piroxênio (20-25%), olivina (15-20%), vidro (10%), opacos (5-10%). A olivina euédrica a subeuédrica ocorre como fenocristais alterado nas fraturas por serpentina levemente esverdeada. Ocorrem também fenocristais de augita com dimensões variadas chegando até 3 mm. O plagioclásio incluso no piroxênio define a textura ofítica da rocha, estando este ocorrendo na matriz. A matriz desses basanitos na zona de São João dos Angolares tem presença de vesículas com preenchimento hidrotermal, gerando uma estrutura fibroradiada a nicóis cruzados (figura 9.1.3). O basanito no Pico de Cão Pequeno é caracterizado pela ocorrência de xenólito constituído por plagioclásio sem orientação preferencial (figura 9.13.1), com pequenos cristais de piroxênio, e opacos associado na matriz fina do xenólito.



Figura 9.1.3. Seção delgada de basanito exibindo vesícula com preenchimento hidrotermal (luz polarizada em objetiva de 4x).



Figura 9.1.3.1. seção delgada de basanito mostrando xenólito de plagioclásio (polarizador cruzado em objetiva de 10x).

Na pedreira de Mesquita constatou-se em lâmina ocorrência de plagioclásio como agregado na matriz da rocha, não chegando a formar cristais, aparecendo como líquido de resfriamento rápido, o que indica que primeiramente houve uma cristalização da olivina e piroxênio, que se apresentam tanto como fenocristais quanto na matriz da rocha. Após a cristalização destes, houve um súbito resfriamento, devido possivelmente a uma rápida ascensão do magma, dado a característica vítrea e intersticial do plagioclásio, sendo que são raros os cristais de feldspato (figura 9.1.3.2). Em escala de afloramento foi observada localmente, na região de Mesquita, disjunções colunares típica e característica de resfriamento rápido, correlacionável e análogo ao modelo de resfriamento que ocorre

atualmente nas dorsais mesoceanicas, formando estruturas de pillow-lavas, estruturas típicas e constantes no litoral são-tomense.

Foi também observado que os fenocristais ferromagnesianos encontram-se bastante alterados nas bordas, ocorrendo até pseudomorfos de olivina e piroxênio substituídos por indigita. Isto deve-se possivelmente ao tipo de estrutura gerada pela disjunção colunar, que favorece a percolação de água meteórica observada em afloramento.

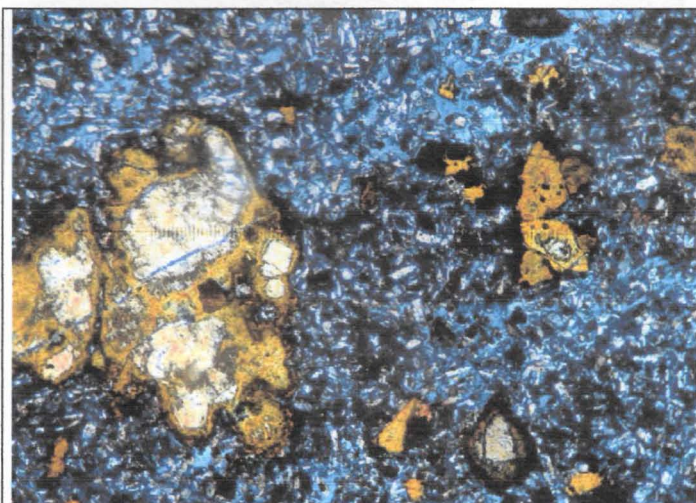


Figura 9.1.3.2. Seção delgada de basalto, onde o plagioclásio aparece como agregado de resfriamento rápido na matriz, com presença de pseudomorfo de olivina (polarizador cruzado em objetiva de 10x).

Tefritos fonolíticos de Lavas e Chaminés

Em Observatório o tefrito fonolítico holocristalino de textura porfírica, apresenta uma composição mineralógica composta por plagioclásio (60%), Piroxênio (20%), feldspato alcalino (8%), Nefelina (5%), opacos (5%) e titanita (2%). A matriz fina é derivada de plagioclásio, piroxênio (aegerina). O feldspato alcalino são fenocristais levemente alterados e apresenta extinção ondulante indicando deformação do cristal por algum esforço sofrido pela rocha. O piroxênio é a aegerina que está como fenocristais alterados, geminados e está em sua maioria sempre associado à megacristais opacos. O anfibólio está sendo consumido pelo piroxênio da borda para o centro, sendo estes associados aos opacos.

No Morro Cagungué a rocha holocristalina de textura porfírica com matriz de granulação muito fina, constituída mineralógicamente por feldspato (65%), Piroxênio (15%) Nefelina (10%) e sodalita (10%). A matriz fina da rocha dificulta na diferenciação entre os feldspatos que não apresenta geminação, e aparece com forma ripiforme. Tanto a Nefelina levemente alterada quanto a Sodalita fazem parte da matriz da rocha e apresentam

características cúbicas e prismáticas respectivamente. O piroxênio presente é aegerina, subeuédrico a anédrico levemente alteradas. A nefelina aparece também como fenocristais com dimensão de 1 mm (figura 9.1.3.3).

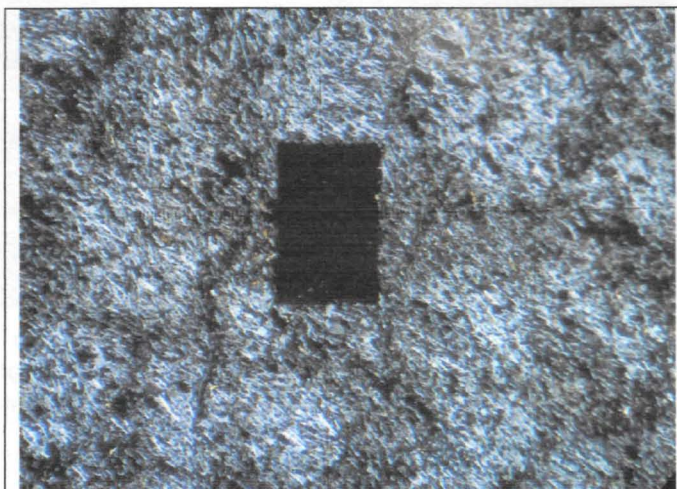


Figura 9.1.3.3. Seção delgada de fonolito exibindo fenocrital de nefelina com extinção reta numa matriz feldspática (polarizador cruzado em objetiva de 10x).

No Azeitona II a rocha hipocristalina de textura porfírica, apresenta características mineralógica composta por plagioclásio (57%), feldspato alcalino (10%), piroxênio (10%), nefelina (10%), opacos(8%), vidro (5%) e carbonato. Observou-se que a matriz da rocha é composta essencialmente por plagioclásio, aegerina, opacos e vidro nos interstício do plagioclásio. Há ocorrência de xenólito com uma borda de reação fina, sendo que o piroxênio de cor verde é a aegerina que substitui da borda para o centro o anfibólio de cor marrom avermelhado (figura 9.1.3.4), com alguns cristais ocorre uma substituição quase que completa (figura 9.1.3.5). Piroxênio está bastante alterado, estando sempre associado a opacos. Está rocha apresenta uma matriz fina de difícil determinação do teor de anortita e com presença de carbonato nos interstícios dos fenocristais de plagioclásio.

Tem também a presença de minerais traços como é o caso da titanita euédrica, levemente fraturada, com inclusão de opacos.

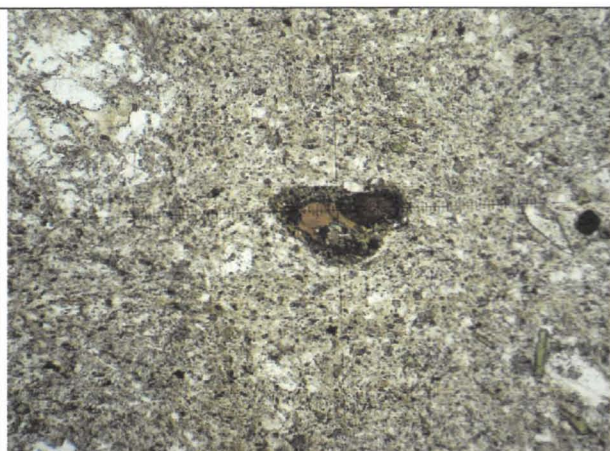


Figura 9.1.3.4. Seção delgada de tefrito fonolítico mostrando a substituição, da borda para o centro, de piroxênio por anfibólio (luz polarizada em objetiva de 4x).

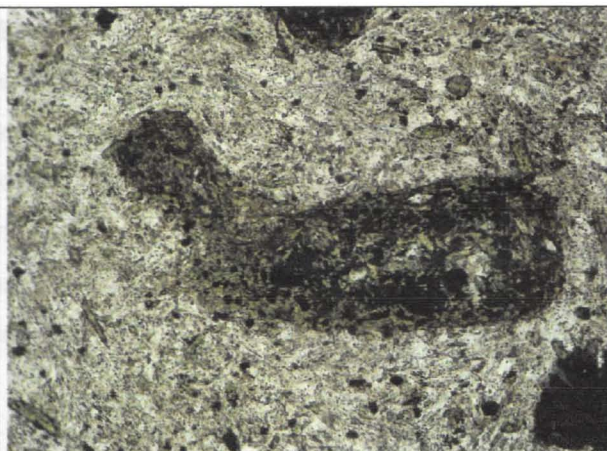


Figura 9.1.3.5. Seção delgada de tefrito fonolítico exibindo a fase final da substituição de piroxênio por anfibólio, com opacos associados (luz polarizada em objetiva de 10x).

No Pico Macuru a rocha é holocristalina de textura porfiritica, constituído mineralogicamente por plagioclásio (70%), Piroxênio (20%), opacos (8%), e carbonato (2%) com algumas poucas agulhas de apatita. Foi observada na lâmina que os feldspatos estão bastante deformados com consequente extinção ondulante dos fenocristais, levemente zonado e opacos associados, sendo que a maioria dos cristais é de granulação fina. O piroxênio é aegerina subeuédrica a anédrica, alterada, com inclusões de opaco. Esses fenocristais de piroxênio apresentam-se alterando xenólito de composição anfibolítica, da borda para o centro com opacos associados a estes com formas e tamanhos variados. O carbonato é observado nos interstícios do plagioclásio.

O fonólito de Monte Senai apresenta características semelhantes ao do Pico Macuru, mas com variação percentuais na composição, uma vez que foi observada em lâmina presença de fenocristais geminado de anfibólio, euédrica a subeuédrica. Observou-se também a presença de titanita bem formada, nos interstícios do plagioclásio e como pequenas inclusões em piroxênio. Os fenocristais de feldspato alcalino apresentam alterados por carbonato e deformados, com consequente extinção ondulante. A biotita está presente na rocha como pequenos cristais intersticiais associados ao piroxênio nas bordas.

A composição mineralogia destas rochas tendem a designá-las como fonolitos, mas na classificação química pelo diagrama TAS (Le Bas et al. 1986) projetam-se no campo do tefrito fonolítico.

9.1.4 Complexo Vulcânico de São Tomé

Basanita

Rocha hipocristalina de textura porfiritica, inequigranular de granulação fina a muito fina, composta essencialmente por plagioclásio (45%), piroxênio (20%), olivina (15%), vidro

(10%), opacos (10%) e carbonato intersticial ao plagioclásio, com presença de xenólitos com dimensões de até 3mm. Os xenólitos de matriz fina são compostos essencialmente por olivina, plagioclásio e piroxênio. A olivina é euédrica a subeuédrica, ocorrendo na matriz e como fenocristais. Os cristais ripiformes de plagioclásio caracterizam a matriz da rocha de granulação fina a muito fina, o que dificulta a determinação do teor de anortita, sendo que essas ripas de plagioclásio não apresentam uma orientação preferencial na sua maioria. Os piroxênios augíticos estão levemente fraturados, apresentando-se zonados e geminados, e também compondo a matriz da rocha. O vidro é material intersticial ao plagioclásio fazendo parte da matriz.

Basalto

São rochas holocristalina a hipocristalina, apresentando textura porfírica, inequigranular muito fina a fina, representada essencialmente por plagioclásio (65%), piroxênio (30%) e opacos (5%). Os plagioclásios ripiformes são abundantemente na matriz da rocha, o que dificulta na determinação do teor de anortita, e também ocorrem como fenocristais alterados. Piroxênio (augita) euédrico, bastante alterados, zonados, com pequenas inclusões de opacos, ocorrendo associados aos minerais supracitados compondo a matriz da rocha, com respectivas variações de tamanhos. Ocorrem fenocristais de piroxênio de composição augítica com núcleo verde (provável aegerina) e borda bege (figura 9.1.4), zonado, procedente da região de Contador, com inclusão de plagioclásio, gerando a textura ofítica. Os opacos são de tamanhos e formas variadas, às vezes aparecem como aglomerados de cristais dispersos na matriz.

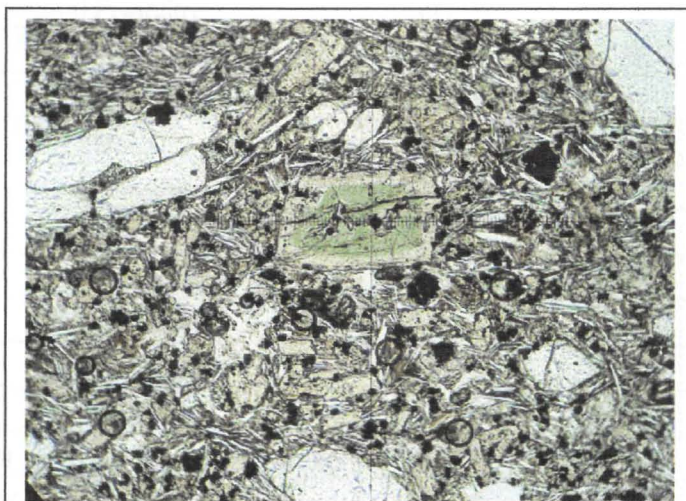


Figura 9.1.4. Seção delgada de basalto. Piroxênio com zoneamento composicional (luz polarizada em objetiva de 4x).

9.2 Geoquímica Rb-Sr

As amostras em estudos depois de preparadas foram feitas análises de fluorescência de raios-X, pelo método convencional, para obtenção de dados das razões Rb-Sr (tabela 3).

Com os resultados de análises de geoquímica Rb-Sr terem sido efetuadas, seus dados foram estudados, e feita interpretação integrada desses resultados, buscando assim, uma correlação a fim de se desenvolver o conhecimento geológico das quatro unidades vulcanoestratigráfica da ilha de São Tomé. Das amostras de análises geoquímicas, foram obtidos resultados de um conjunto de dezesseis amostras (tabela 4), dentre elas, basaltos e basanitos do Complexo Vulcânico de São Tomé e Complexo Vulcânico de Mizambú, traquito da Formação Vulcânica Ilhéu das Cabras, e tefritos fonolíticos, basanitos e fonolito do Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso.

A partir desses dados foi confeccionado um gráfico de geoquímica de Rb-Sr no intuito de observar o comportamento das referidas unidades com relação a variação desses elementos, definindo assim a origem das suas fontes mantélicas.

Tabela 4. Dados obtidos na fluorescência de raios-X para razões Rb/Sr.

Amostra	Rocha	Material	Quantitativa	
			Sr (ppm)	Rb (ppm)
ST98-10	Tefrito fonolítico	RTOT	195,48	271,40
ST98-25	Tefrito fonolítico	RTOT	196,94	367,87
ST98-38	Tefrito fonolítico	RTOT	154,16	235,09
ST98-46	Fonolito	RTOT	266,35	22,74
ST98-52	Tefrito fonolítico	RTOT	131,56	1632,26
ST96-22	Basanito	RTOT	32,40	1087,7
ST99-7	Basalto	RTOT	36,03	1039,6
ST99-9	Basanito	RTOT	41,64	946,0
ST99-22	Basanito	RTOT	71,19	1166,3
ST97-47	Basanito	RTOT	75,99	731,2
ST97-108	Basalto	RTOT	24,37	794,1
ST99-19	Basanito	RTOT	21,81	981,9
ST-CM-I	Basanito	RTOT	181,70	107,6
ST-CVST-III	Piroclasto/Basanito	RTOT	72,14	926,6
ST-CVST-IV	Basalto	RTOT	33,56	1211,3
ST-CVST-VI	Basanito	RTOT	109,98	1062,64
ST-CVIC-V	Traquito	RTOT	133,06	213,29

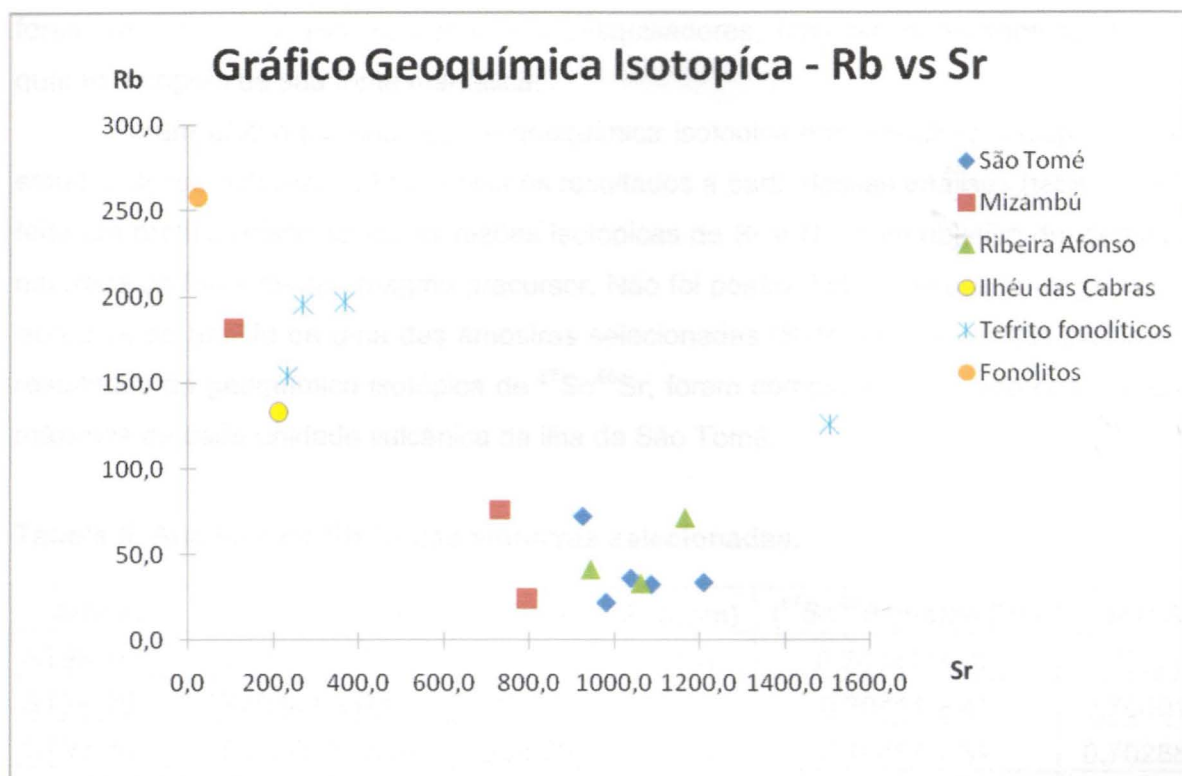


Gráfico 1. Geoquímica de Rb versus Sr

Observando a disposição dos dados no presente gráfico, nota-se que os basaltos e basanitos dos Complexos Vulcânicos de São Tomé, de Ribeira Afonso e de Mizambú apresentando um baixo valor de rubídio e alto valor de estrôncio. No Complexo Vulcânico de Mizambú um dos basanitos apresenta um elevado valor de Sr e baixo valor de Rb, isso se deve a uma percentagem um pouco elevada de carbonatos, com relação a outros basanitos, presente na amostra que também é observada na petrografia dessa mesma rocha.

Nota-se pela distribuição dos pontos dos tefritos fonolíticos do Complexo Vulcânico da Ribeira Afonso, que estes apresentam um baixo valor de Sr e elevado valor de Rb, e provavelmente são originários da diferenciação mantélica com pequenas modificações temporais, com exceção de uma amostra que se mostra fora dos padrões esperados. O fonolito deste complexo apresenta um baixo teor de Sr e um valor de Rb bastante elevado, compatível com o esperado para um fonolito. O traquito do Ilhéu das Cabras segue uma distribuição normal, dentro dos padrões da rocha para as análises efetuadas.

9.3 Geoquímica Isotópica

A ilha de São Tomé é uma região privilegiada para estudos aprofundados sobre a geoquímica isotópica dos basaltos alcalinos que ocorrem na região, pois faz parte de uma província de ocorrência de vulcanismo oceânico e continental. Diversos estudos geológicos

foram realizados na região, por vários pesquisadores, mas ainda existem controvérsias quanto à origem de sua fonte mantélica.

Foram efetuadas análises de geoquímica isotópica das amostras a disposição para estudos dessa natureza, e foram obtidos resultados a partir dessas análises (tabela 5 e 6), e feito um gráfico relacionando as razões isotópicas de Sr e Nd, com objetivo de identificar a natureza da fonte de seu magma precursor. Não foi possível obter resultado da geoquímica isotópica de Sm/Nd de uma das amostras selecionadas (ST98-46) para estas análises. Os resultados da geoquímica isotópica de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, foram corrigidas de acordo com as idades máximas de cada unidade vulcânica da ilha de São Tomé.

Tabela 5. Análises de Rb-Sr das amostras selecionadas.

Amostra	Rocha/unidade	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})/\text{erro} (2s)$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$
ST98-10	Tefrito/CVRA	195,5	271,4	$0,703411 \pm 45$	0,703290
ST98-25	Tefrito/CVRA	196,9	367,9	$0,70411 \pm 41$	0,704011
ST98-46	Fonolito/CVRA	258,20	23,66	$0,70467 \pm 31$	0,702880
ST98-52	Tefrito/CVRA	125,43	1505,39	$0,70345 \pm 30$	0,703440
ST98-38	Tefrito/CVRA	154,2	235,1	$0,70397 \pm 40$	0,703860
ST96-22	Basanito/CVST	32,4	1087,7	$0,70342 \pm 27$	0,703418
ST99-19	Basanito/CVST	21,8	981,9	$0,70335 \pm 59$	0,703346
ST-CM-I	Basanito/CVM	181,7	107,6	$0,70409 \pm 59$	0,703530
ST99-9	Basanito/CVRA	41,6	946,0	$0,70328 \pm 31$	0,703280
ST99-22	Basanito/CVM	71,2	1166,3	$0,70340 \pm 12$	0,703390
ST97-47	Basanito/CVM	76,0	731,2	$0,70335 \pm 21$	0,703320
ST97-108	Basalto/CVM	24,4	794,1	$0,70313 \pm 34$	0,703120
ST-CVST-IV	Basalto/CVST	33,6	1211,3	$0,70305 \pm 19$	0,703053
ST-CVRA-VI	Basanito/CVRA	33,6	1062,6	$0,70338 \pm 14$	0,703377
ST99-7	Basalto/CVST	36,0	1039,6	$0,70305 \pm 31$	0,703046
ST-FVIC-V	Traquito/FVIC	133,06	213,29	$0,70364 \pm 56$	0,703340

CVST – Complexo Vulcânico de São Tomé; CVRA – Complexo Vulcânico de Ribeira Afonso; CVM – Complexo Vulcânico de Mizambú; FVIC Formação Vulcânica Ilhéu das Cabras.

Para a construção do gráfico abaixo foram utilizados os valores das razões iniciais de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, para observar a distribuição dos dados no mesmo, e com isso obter a origem da fonte mantélica precursora da ilha de São Tomé.

O reconhecimento das heterogeneidades mantélicas das fontes OIB são fatos bastante documentados e aceites, esquematizado como resultantes da mistura de quatro componentes mantélicos HIMU (High- μ Mantle), EM I (Enriched Mantle type I), EM II (Enriched Mantle type II) e DMM (Depleted Morb Mantle) (Witthe, 1985, zindler & Hart, 1986; Hart 1988).

Tabela 6. Dados de geoquímica isotópica Sm/Nd

Amostras	Rocha/Unidade	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ erro¹	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ erro (2s)	T_{DM}¹ (Ga)	eNd(0)
ST98-10	Tefrito/CVRA	6,443	48,700	0,07999 ± 5	0,51282 ± 7	0,3	3,47
ST98-25	Tefrito/CVRA	5,195	39,372	0,07979 ± 5	0,51283 ± 9	0,3	3,74
ST98-38	Tefrito/CVRA	5,979	43,876	0,08241 ± 5	0,51281 ± 3	0,3	3,40
ST98-52	Tefrito/CVRA	7,257	45,710	0,09600 ± 6	0,51276 ± 9	0,4	2,34
ST99-9	Basanito/CVRA	10,918	57,749	0,11433 ± 7	0,51286 ± 4	0,3	4,44
ST99-22	Basanito/CVRA	11,663	62,862	0,11219 ± 7	0,51282 ± 11	0,4	3,56
ST97-47	Basanito/CVM	9,228	48,510	0,11503 ± 7	0,51283 ± 8	0,4	3,80
ST99-19	Basanito/CVST	10,202	51,557	0,11966 ± 7	0,51292 ± 9	0,2	5,49
ST96-22	Basanito/CVST	10,582	54,374	0,11769 ± 7	0,51292 ± 9	0,2	5,56
ST97-108	Basalto/CVM	8,860	43,509	0,12314 ± 7	0,51287 ± 9	0,3	4,52
ST99-7	Basalto/CVST	9,382	47,250	0,12007 ± 7	0,51292 ± 10	0,2	5,43
ST-CM-I	Basanito/CVM	10,512	76,644	0,08294 ± 7	0,51280 ± 8	0,3	3,15
ST-CVST-IV	Basalto/CVST	11,878	62,144	0,11558 ± 7	0,51292 ± 6	0,2	5,59
ST-CVST-VI	Basanito/CVRA	11,308	60,152	0,11368 ± 7	0,51284 ± 9	0,3	3,95
ST-CVIC-V	Traquito/FVIC	8,597	57,636	0,09020 ± 5	0,51285 ± 12	0,3	4,07
ST-CVST-III	Basanito/CVST	9,759	49,794	0,11852 ± 7	0,51288 ± 10	0,3	4,65

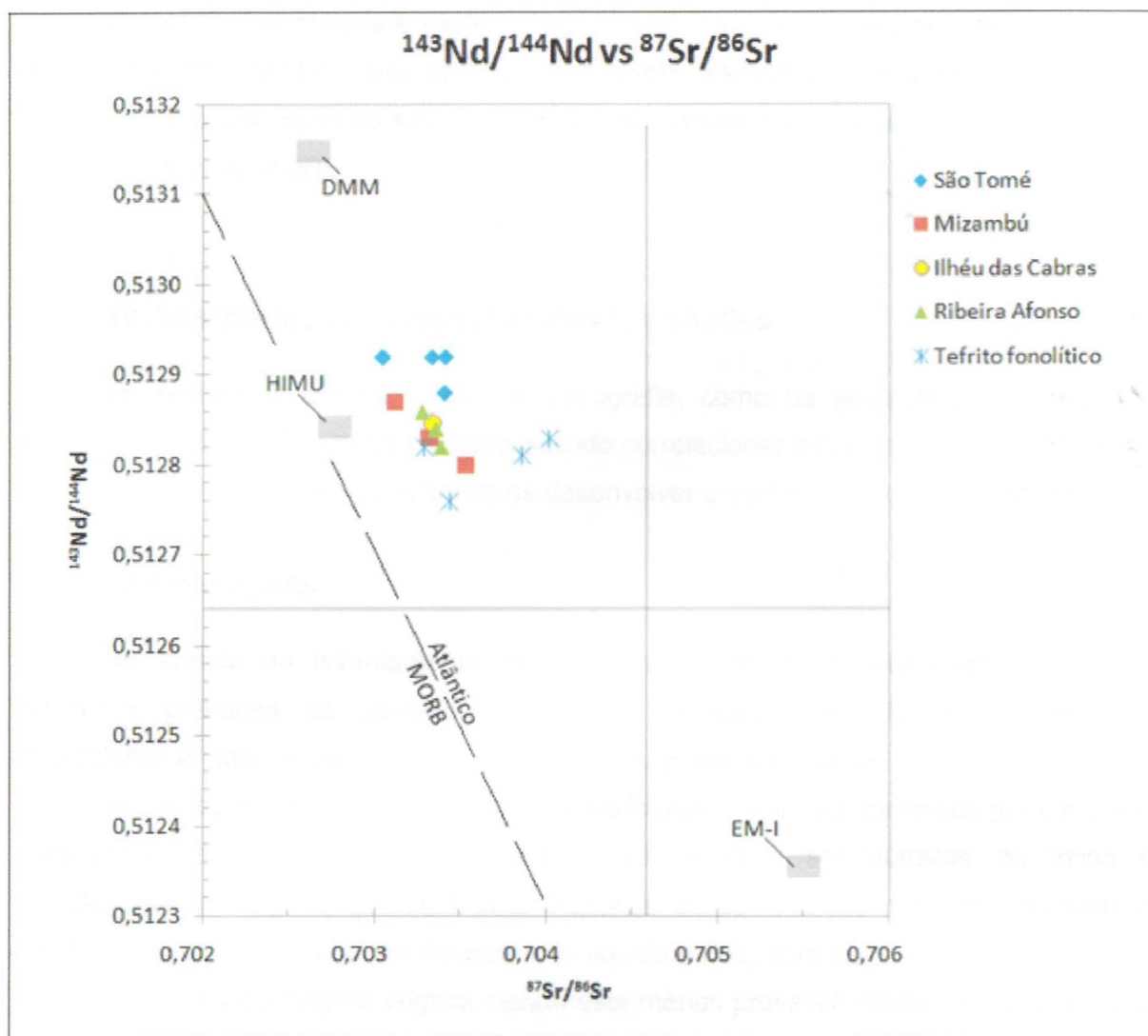


Gráfico 2. Representação das razões de isótopos Sr e Nd. HIMU = High-μ Mantle, EM-I = Enriched Mantle type I e DMM = Depleted Morb Mantle.

O gráfico acima representa a relação entre as razões iniciais $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, onde a linha tracejada demarca os valores médios da composição atual do MORB Atlântico, mostrando também a posição dos componentes mantélicos DMM, HIMU e EM-I. Os pontos encontram-se agrupados, evidenciando uma pequena variação dos valores isotópicos de Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70288 \pm 31$ a 0.70402 ± 41) e Nd ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0,51276 \pm 9$ a $0,51292 \pm 10$). Os tefritos fonolíticos mostram variância dos valores isotópicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e baixas concentrações de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, enquanto que os basaltos e basanitos do Complexo Vulcânico de São Tomé apresentam os maiores valores de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ com dados pouco variáveis de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. A disposição dos dados de outros complexos apresenta variação linear com aumento dos valores de Sr e diminuição dos valores do $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$.

Os resultados obtidos e explicitados no gráfico situam-se próximos ao componente mantélico HIMU. Nota-se que os resultados estão alinhados paralelamente à reta que representa a composição do MORB Atlântico, demonstrando a existência de uma taxa de variação similar ao MORB.

10. Interpretação e Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos, tanto na petrografia, como na geoquímica, de qualidade analítica satisfatória, foram discutidos buscando correlacionar e comparar os resultados com os dos trabalhos já existentes, a fim de se desenvolver o conhecimento geológico regional.

10.1 Petrografia

No âmbito do levantamento de dados petrográficos foi observada nos tefritos fonolíticos presença de xenólitos compostos essencialmente de olivina, piroxênio, plagioclásio e opacos em algumas amostras. A presença desses xenólitos nas rochas estudadas indica que se trata de um magma predecessor que foi incorporado por um evento magmático posterior. Estes xenólitos poderiam também ser autólitos de início da cristalização do magma, que com uma mudança de composição nas características do próprio magma, originou-se um desequilíbrio líquido/sólido, com consequente consumo dos cristais formados do magma original, sendo esta menos provável, devido às características químicas composicionais apresentadas pelo anfibólio, que difere dos minerais que compõem a matriz da rocha. Por outro lado, xenólitos observados em basaltos, basanitos e traquitos são diferentes dos encontrados nos tefritos.

Segundo a Rita Caldeira (2006), a cristalização fracionada pode ter sido o mecanismo da evolução magmática, que contribuiu para a diversificação do litotipos observados na ilha de São Tomé, particularmente na geração das rochas mais evoluídas.

10.2 Geoquímica Isotópica

A Linha dos Camarões apresenta particularidades interessantes no que diz respeito à ocorrência de vulcanismo alcalino do tipo oceânico e continental na mesma província, tornando-se assim uma região privilegiada para a diferenciação entre basaltos alcalinos e variedades litológicas associadas intraplaca, tanto oceânicos quanto continentais. Estudos geoquímicos de elementos maiores, traços e isotópicos, realizados por diversos autores revelam características semelhantes entre o vulcanismo oceânico e continental na Linha dos Camarões, evidenciando assim, que tanto no setor oceânico quanto no continental têm a

mesma origem sublitosférica em uma larga escala temporal e geográfica (Fitton & Dunlop, 1985; Fitton, 1987; Fitton & Hughes, 1977; Norry & Fitton, 1983; Halliday *et al.*, 1988).

Levando em consideração que o vulcanismo da Linha dos Camarões não apresenta indícios de migração espacial de atividades vulcânicas com o tempo, apresentando atividades magmáticas nos últimos milhões de anos, faz com que a hipótese de ser resultado de um "hot spot" seja considerada pouco provável, sendo sugerida uma fonte magmática situada no manto superior convectivo (Fitton & Dunlop, 1985, Fitton 1987). Esta é considerada como fonte típica dos basaltos tipo MORB, e tem sido idealizado na LVC, tanto na parte continental quanto na oceânica, o conceito de uma zona quente ("hot zone"), de direção NE-SW, com anomalias termais como responsáveis pelo magmatismo durante a deslocação da placa africana para NE. Esta idéia é suportada em estudos continentais (Marzoli *et al.*, 1999). Por outro lado, as características isotópicas registradas pelos centros vulcânicos da LVC, no limite oceânico/continental, são próximas do componente mantélico HIMU (Zindler & Hart, 1986; Barfod *et al.*, 1999), o mesmo da Ilha de Santa Helena.

A origem da variação de Rb-Sr mostrada no gráfico 1, pode ter sido resultado de uma cristalização fracionada progressiva, de uma magma originário em câmara magmática fechada, ou da variação do grau de fusão parcial da rocha no manto. A razão pela qual um dos tefritos fonolíticos (ST98-52) apresenta valor anômalo de Sr em relação aos demais se deve provavelmente a alta concentração de titanita, que tem Ca^{2+} na sua composição química, facilmente substituída pelo cátion Sr^{2+} que tem raio iônico semelhante.

Além disso, um dos basanitos (ST-CVM-I) do Complexo Vulcânico de Mizambú apresenta valores anômalos de Sr, e isso se deve provavelmente a presença de carbonato, sendo que isto foi observado na petrografia.

A nosso ver, os basaltos e basanitos de três unidades vulcanoestratigráficas da ilha de São Tomé são provenientes de uma mesma fonte mantélica, sendo estas os Complexos Vulcânicos de São Tomé, de Ribeira Afonso e o de Mizambú respetivamente, mas levando em consideração a diferença de idades entre eles, entendemos que são provavelmente originários de pulsos magmáticos distintos em uma escala temporal e geográfica.

Pelos resultados obtidos no gráfico $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ acima, as rochas vulcânicas da ilha de São Tomé situaram próximos do campo da fonte mantélica MORB (Mid Ocean Ridge Basalts), com características químicas empobrecidas relativamente aos basaltos das ilhas oceânicas (OIB). Os basaltos das dorsais médio-oceânicas apresentam uma baixa razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, com seus valores variando entre 0.7020 a 0.7030 e baixas concentrações de Rb e Sr (Allègre *et al.*, 1983 a, b; Ito *et al.*, 1987; Hofmann, 1988), sendo que as baixas razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do MORB indicam rochas derivadas de magmas empobrecidos originários do manto superior (Faure, 2001).

As razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas vulcânicas ao longo da extensão da Linha dos Camarões variam de 0.70291 a 0.70417 (Halliday *et al.*, 1988, 1990), doravante, os resultados obtidos na geoquímica isotópica das rochas vulcânicas de São Tomé, as razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variam de 0.70288 a 0.70411, entretanto, encontra-se dentro do intervalo da Linha dos Camarões.

11. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos na geoquímica isotópica de Rb-Sr, podemos concluir que os basaltos e basanitos da ilha de São Tomé, nos Complexos Vulcânicos de São Tomé, Ribeira Afonso e Mizambú, são provenientes de uma mesma fonte mantélica, denotada por uma variação de escala temporal e geográfica, originários de pulsos magmáticos distintos, devido a diferença de idades existente entre elas. Essas rochas apresentam pequenas variações na geoquímica isotópica relacionadas com sucessivos pulsos magmáticos, provocando pequenas evoluções por diferenciação magmática.

Um dos principais objetivos do presente trabalho consistia no aumento da precisão das idades obtidas em trabalhos prévios realizados no local de estudos, utilizando rochas com razão Rb/Sr elevada, como seria o caso dos fonolitos descritos em Caldeira (2006). No entanto, realizando análises de geoquímica isotópica, constatou-se que os fonolitos definidos nesses trabalhos na verdade pertenciam a uma outra classificação litológica, redefinidas no atual trabalho como tefritos fonolíticos. Apenas em uma das chaminês, Cagungué, foi amostrada uma rocha fonolítica. Entretanto, como não é possível conhecer a priori a sua razão inicial $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ não é conhecida, não foi possível obter a sua idade pelo método Rb-Sr. Os tefritos fonolíticos apresentam razões iniciais de Sr muito elevadas, impedindo a sua determinação de idade pelo mesmo método.

A partir do gráfico das razões iniciais $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ versus $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (gráfico 2) podemos observar que as rochas vulcânicas de São Tomé situaram-se próximas do campo da fonte MORB, com razões iniciais $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, um pouco mais elevadas.

Foi confeccionado o gráfico abaixo, com intuito de efetuar uma comparação entre os dados obtidos no presente trabalho e os já realizados. Os dados de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ utilizados para a confecção deste gráfico (gráfico 3) foram retirados no trabalho de Halliday *et al.*, (1990). Pode-se constatar a similaridade entre diferentes trabalhos, ressaltando assim, que os resultados obtidos na geoquímica isotópica para esta monografia são coerentes, apresentando alta confiabilidade.

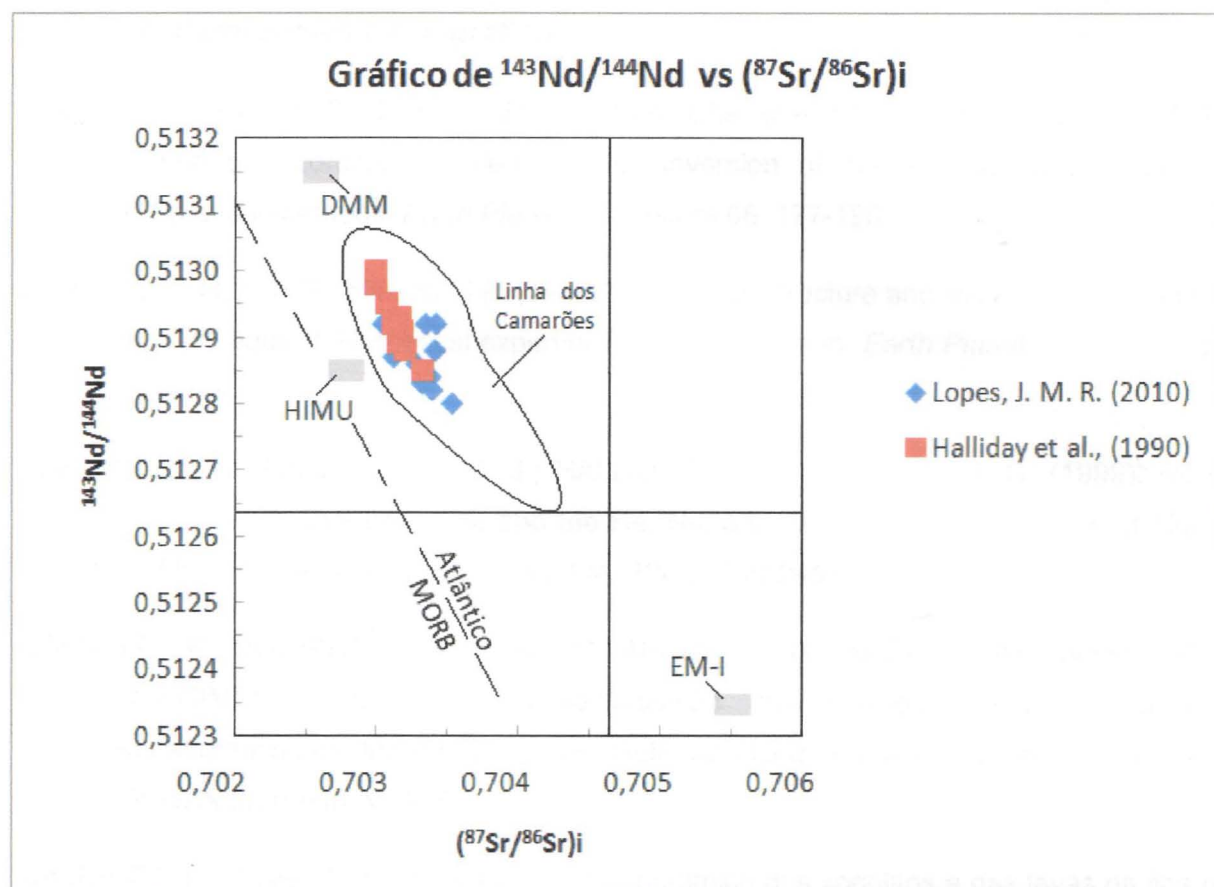


Gráfico 3. Comparação entre os resultados obtidos pelo autor com o Halliday et al. (1990).

Conforme os resultados obtidos neste gráfico, os dados de geoquímica isotópica de rochas da ilha de São Tomé, tanto os apresentados neste trabalho como os de Halliday et al. (1990), encontram-se inseridos no domínio mais primitivo da Linha Vulcânica dos Camarões, estando de acordo com os padrões esperados para esta pesquisa. A consistência dos dados reforça a idéia de que a origem da fonte magmática provém da mesma região mantélica.

12. Referências bibliográficas

- Allègre, C.J.; Hart, S.R.; Minster, J.F. (1983a). Chemical structure and evolution of the mantle and continents determined by inversion of Nd and Sr isotopic data. I. Theoretical methods. *Earth Planet Sci. Letters* **66**: 177-190.
- Allègre, C.J.; Hart, S.R.; Minster, J.F. (1983b). Chemical structure and evolution of Nd and Sr isotopic data. II. Numerical experiments and discussion. *Earth Planet Sci. Letters* **66**: 191-213.
- BARFOD, D. N.; BALLENTINE, C. J.; HALLIDAY, A. N. & FITTON, J. G. (1999). Noble gases in the Cameroon line and the He, Ne, and Ar isotopic compositions of high μ (HIMU) mantle. *J. Geophys. Res.*, *104* (12), 29509-29527.
- CALDEIRA, R.; MADEIRA, J.; MUNHÁ, J.M.; AFONSO, R.S.; MATA, J., TASSINARI, C.C. & NASCIMENTO, E. (2003). Caracterização das principais unidades vulcano-estratigráficas da ilha de São Tomé, Golfo da Guiné. *Ciencias da Terra (Univ. Nova de Lisboa)*, nºesp. V: A15-A18.
- CALDEIRA, R. (2006). Estudo petrológico e geoquímico dos xonolitos e das lavas da ilha de São Tomé (Arquipélago de São Tomé e Príncipe). Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa: 322 pp.
- CARDOSO, J.C. & GARCIA, J.S. (1962). Carta dos solos de São Tomé e Príncipe. *Memórias da Junta de Investigações do Ultramar; 2ª série*, **39**, Lisboa.
- DEPAOLO, D.J. (1981). Nd isotopic studies: Some new perspectives on earth structure and evolution. *EOS*, **62**: 137-140.
- DÉRUELLE, B.; N'NI, J. & KAMBOU, R. (1987). Mount Cameroun: An active volcano of the Cameroon Line. *Journal of African Earth Sciences* **6**: 197-214.
- DUNCAN, R.A. (1981) Hotspots in the southern oceans - an absolute frame of reference for motion of the Gondwana continents. *Tectonophysics* **74**: 29-42.
- EMERY, K.O. & UCHUPI, E. (1984). The Geology of the Atlantic Ocean. *Spring Verlag*, 925pp.
- FAURE, G. (2001). Origin of Igneous Rocks: the Isotopic Evidence, *Spring-Verlag*, 496pp
- FITTON, J.G. & HUGHES, D.J. (1977). Petrochemistry of the volcanic rocks of the island of Principe, Gulf of guinea. *Contrib. Mineral. Petrol.* **64** (3), 257-72.

- FITTON, J.G. (1980). The Benue through and Cameroun line - a migrating rift system in the West Africa. *Earth and Planet Sci. Lett.* **51**: 132-138.
- FITTON, J. G. (1983). Active versus continental rifting: evidence from the West African rift system. *Tectonophysics* **94**: 473-481.
- FITTON, J. G. (1987). The Cameroon line, west Africa: a comparison between oceanic and continental alkaline volcanism. In Alkaline Igneous Rocks (Fitton, J. G & Upton, B. G. J. eds), *Geol.Soc. Spec. Publ.* **30**: 273-291.
- FITTON, J.G. & DUNLOP, H.M. (1985). The Cameroon line, West Africa and its bearing on the origin of oceanic and continental alkali basalt. *Earth Planet Sci. Lett.* **72**: 23-38.
- HALLIDAY, A.N.; DICKIN, A.P.; FALLICK, A.E. & FITTON, J.G. (1988). Mantle Dynamics: a Nd, Sr, Pb and isotopic study of the Cameroon Line Volcanic Chain. *J. Petrol.* **29**: 181-211.
- HOFMANN, A.W.; JOCKUM, K.P.; SEUFERT, M.; WHITE, W.M. (1986). Nd and Pb in oceanic basalts: new constrains on mantle evolution. *Earth Plan. Sci. Lett.* **79**: 33-45.
- JONES, P.J.; BURLISON, J.P.; TYE, A. (1991). Conservação dos ecossistemas florestais na República Democrática de São Tomé e Príncipe. *Programa para as florestas tropicais*.
- LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, **27**: 745-70.
- MARZOLI, A.; RENNE, P.R.; PICCIRILLO, E.M.; FRANCESCA, C.; BELLINI, G.; MELFI, A.J.; NYOBE, J.B. & N'NI, J. (1999). Silicic magmas from the continental Cameroon Volcanic Line (Oku, Bambouto and Ngaoundere): ^{40}Ar - ^{39}Ar dates, petrology, Sr-Nd-O isotopes and their petrogenetic significance. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **135**: 133-150.
- MORGAN, W.J. (1983). Hotspot tracks and the early rifting of the Atlantic. *Tectonophysics*, **94**: 123-139.
- MUNHÁ, J.M.; AFONSO, R. S.; CALDEIRA, R. & MATA, J. 2002. Estudo Geológico preliminar da Região Nordeste da ilha de São Tomé (folha nº2 – Ana Chaves). *Garcia de Orta – Série Geologia*, V18 (1-2): 1- 8.
- MUNHÁ, J.M.; CALDEIRA, R.; MADEIRA, J.; MATA, J.; AFONSO, R. S. (2007). Geologia da Ilha de São Tomé: Notícia Explicativa da carta Geológica na escala 1: 25000.

- NEIVA, J.M.C. (1956). Contribuição para o estudo geológico e geomorfológico da ilha de São Tomé e dos ilhéus das Rolas e das Cabras. *Actas da 6ª Sessão de Conferência Internacional sobre a África Ocidental* **Vol 2**: 147-153.
- NORRY, M.J. & FITTON, J.G. (1983). Compositional differences between oceanic and continental basic lavas and their significance. *Continental basalts and mantle xenoliths* (C.J. Hawkesworth & M.J. Norry, eds). *Shiva Geology Series*, 5-19.
- TEIXEIRA, C. (1949). Geologia das ilhas de São Tomé e Príncipe e do Território de São João Baptista de Ajudá, *Anais da Junta de Investigação do Ultramar* **2(2)**.
- ZINDLER, A. & HART, S. (1986). Chemical geodynamics. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, **14**: 493-571.



DOAÇÃO	
IGC-USP	
Data:	21/02/11