



UNIVERSIDADE
EDUARDO
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
Licenciatura em Geologia Aplicada

PROJECTO CIENTÍFICO

Título

**Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na
Região de Boane, Província de Maputo-Moçambique**

Autora:

Adriana Aduana Barca

Maputo, Maio de 2026



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
Licenciatura em Geologia Aplicada

PROJECTO CIENTÍFICO

Título

**Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na
Região de Boane, Província de Maputo-Moçambique**

Autora:

Adriana Aduana Barca

Supervisor:

Prof. Doutor Estêvão Inácio Sumburane

Maputo, Maio de 2026

DEDICATÓRIA

A Deus, pela graça que me sustentou.

E aos meus pais, que com amor, esforço e sacrifício tornaram possível esta conquista.

A vós entrego esta vitória..

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus porque, sem Ele, eu não teria chegado até aqui. Em muitos momentos difíceis, encontrei n'Ele a força que me faltava, a calma para seguir e a coragem para continuar quando tudo parecia mais pesado. Esta conquista também é Sua.

Aos meus pais, Rosa Mário Mucorre Árabe e Barca Árabe, deixo a minha gratidão mais sincera. Muito do que alcancei só foi possível graças ao vosso esforço, cuidado e dedicação. Obrigada por sempre fazerem o melhor que podiam, mesmo nos momentos mais desafiadores. Sou profundamente grata por tudo o que fizeram por mim ao longo de toda a minha vida.

Agradeço às minhas irmãs, Fátima Árabe, Sheila Badrú e Vânia Árabe, pelo apoio, pelas palavras certas e pela presença em todas as fases desta jornada. À Vânia, um agradecimento especial pelo carinho e pela atenção constantes, especialmente nos momentos em que eu mais precisei. A tua dedicação fez muita diferença.

Ao meu parceiro de vida, Edrisse Abdillah Alfane, obrigada por seres presença, apoio e abrigo. Pelas palavras que me firmaram, pela paciência que me amparou e pela força que me deste nos dias em que eu tinha pouco a oferecer. Obrigada por me ajudares a encontrar, repetidas vezes, a melhor versão de mim.

Agradecimentos especiais endereço ao meu supervisor, Prof. Doutor Estêvão Inácio Sumburane, por ter aceite e acreditado em mim. Sou profundamente grata por todos os ensinamentos, pela sua orientação, pela paciência e pelo apoio incondicional que tornaram este projeto possível.

Estendo os meus agradecimentos ao Mestre Daniel Ibrahim, por todos os conselhos, pela sua disponibilidade constante e pela sabedoria com que sempre me conduziu em momentos decisivos.

Ao Prof. Doutor Daúde Jamal e à Doutora Laura, obrigada pelo exemplo e pela prontidão em ajudar sempre que necessário.

Agradeço ao Sr. Teófilo Gove e ao Dr. Sérgio Goenha, pela paciência e excelência com que me ensinaram as práticas laboratoriais. Vocês contribuíram directamente para a qualidade deste trabalho.

Aos meus amigos ELITE: Nareia Cambaza, Charlene Mabote, Letícia Uqueio, Carla Uane, Plautila Valombe, Natércia Matsimbe, Chelsia Machel, Augusto Pais, Leandro Ramos e Kelvin Simango, obrigada por cada momento que partilhámos. A jornada teria sido muito mais pesada sem vocês. Vocês foram abrigo, riso, força e companhia em todas as fases.

Aos meus colegas, Mário Nhanala e Kelvin Maluleque, obrigada por todo apoio e ajuda prestada ao longo deste percurso.

Aos colegas que estiveram comigo na recta final, Karen Zunguze, Zefanias Cune e Sidónia Tagir, agradeço pela companhia sincera em cada etapa deste processo. Fomos parceiros de laboratório, de microscopia, de dúvidas e de tentativas. Enquanto cada um escrevia o seu próprio TCC, encontrámos força na presença uns dos outros. Obrigada pelas horas partilhadas, pelo apoio silencioso, pelas conversas que aliviaram o cansaço e pela cumplicidade que tornou este percurso menos pesado.

Aos meus monitores, Nélio Miguel, Lázaro Ricardina e Marcos Bila, deixo um sincero agradecimento pela paciência, pela orientação contínua e pela forma como contribuíram para a minha formação.

Ao He Is the Focus, e especialmente à Rebeca Fátima e à Ruth Bertina, obrigada por cuidarem da parte de mim que ninguém vê. Vocês foram o meu suporte espiritual quando a minha fé estava fraca.

Aos meus amigos Boavida Mungoi, Rosa Bambo, Jéssica Chaquisse, Yona Florinda e Alice Eusébio, obrigada pela amizade constante e por estarem presentes mesmo quando eu me encontrava mais ausente devido às exigências do curso.

À Turma de Geologia e Cartografia 2021, obrigada por cada campo, cada desafio, cada momento partilhado. Crescemos juntos, lutamos juntos, e levaremos esta experiência para sempre.

E agradeço, do fundo do coração, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para esta caminhada. Mesmo que o vosso nome não esteja escrito aqui, a vossa presença está marcada na minha história.

EPÍGRAFE

*Para que todos vejam, e saibam, e considerem,
e juntamente entendam que a mão do Senhor fez isto.*

Isaías 41:20

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Adriana Aduana Barca, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria. O projecto nunca foi submetido e apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico. O projecto resulta de uma pesquisa por mim realizada, com a orientação e apoio do meu supervisor. Todas as bibliografias consultadas encontram-se devidamente citadas e referenciadas na bibliografia.

A Candidata

(Adriana Aduana Barca)

Maputo, Maio de 2026

RESUMO

Os riolitos da região dos Pequenos Libombos, no sul de Moçambique, constituem importantes registros do vulcanismo ácido regional, cuja caracterização mineralógica e textural é essencial para a compreensão de sua evolução geológica. Este estudo teve como objectivo caracterizar petrográfica e mineralogicamente essas rochas por meio da integração de observações macroscópicas, análises petrográficas em lâmina delgada e difracção de raios X (XRD).

Os resultados petrográficos indicam que os riolitos são constituídos predominantemente por quartzo e feldspatos alcalinos, acompanhados por plagioclase rica em sódio, biotite e muscovite como minerais acessórios. Texturas esferulíticas radiais e axiolíticas, agregados criptocristalinos e intercrescimentos quartzo–feldspato sugerem que o material vulcânico original apresentava carácter parcialmente vítreo e foi posteriormente reorganizado por processos de devitrificação associados ao rápido arrefecimento das lavas. Minerais secundários, como sericite, muscovite fina e óxidos de ferro, registram processos de alteração pós-magmática de baixa temperatura que afetaram principalmente os feldspatos.

Os resultados de difracção de raios X confirmam as fases cristalinas observadas petrograficamente, evidenciando a predominância de quartzo e feldspatos e indicando significativa recristalização do material originalmente vítreo. Em conjunto, os dados obtidos permitem definir a composição mineralógica, as principais texturas vulcânicas e os processos pós-magmáticos responsáveis pela evolução dos riolitos da região, contribuindo para o aprimoramento do conhecimento geológico local.

Palavras-chave: riolitos; petrografia; difracção de raios X; devitrificação; alteração pós-magmática.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	vi
DECLARAÇÃO DE HONRA	vii
RESUMO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	xiv
CAPÍTULO I – GENERALIDADES.....	1
1. Introdução	1
1.1. Objectivos do Trabalho.....	2
1.1.1. Objectivo geral	2
1.1.2. Objectivos específicos	2
1.2. Relevância do Trabalho	2
1.3. Aspectos Gerais da Área de Estudo	3
1.3.1. Enquadramento Geográfico	3
1.3.2. Clima e Hidrografia	4
1.3.3. Relevo e Solos	5
1.4. Enquadramento Geológico.....	7
1.4.1. Enquadramento geológico regional	7
1.4.2. Enquadramento geológico local	9
CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1. Rochas Ígneas	15
2.2. Riólitos.....	15
2.2.2. Texturas e Microestruturas	17
2.3. Petrografia.....	18

2.4. Difrração de raios X	20
2.4.1. Origem e desenvolvimento dos raios X	20
2.4.2. Difrração de raios X e sua aplicação em riolitos	20
CAPÍTULO III- METODOLOGIA	23
3.1. Trabalho de Campo.....	23
3.2. Preparação de Lâminas Delgadas	24
3.3. Microscopia Óptica.....	26
3.4. Análise Mineralógica por XRD	26
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Descrição Macroscópica	29
4.1. Descrição Microscópica.....	34
4.1.1. Semelhanças petrográficas entre as amostras.....	34
4.1.2. Principais diferenças texturais e mineralógicas entre as amostras	37
4.3. Difrração de Raio-X	43
4.4. Discussão dos Resultados	48
CAPÍTULO V- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
5.1. Conclusão.....	51
5.2. Recomendações	53
CAPITULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.....	4
Figura 2: Rios e bacias hidrográficas que atravessam o Distrito de Boane. FONTE: Nhanenge (2024).	5
Figura 3: Mapa da distribuição das classes de solos do Distrito de Boane. Fonte: Nhanenge (2024).6	
Figura 4: Enquadramento geológico regional do monoclinal dos Libombos. Mapa adaptado de GTK Consortium (2006a). Fonte:.....	8
Figura 5: Mapa geológico da área de estudo.	9
Figura 6: Contacto entre riolitos do Membro dos Pequenos Libombos (parte superior) e basaltos da formação Moveene (parte inferior). Fonte: Adaptado do GTK consortium, volume 1.Escala: martelo de 65cm.	11
Figura 7: (A) fragmento de tufos deformados plasticamente. (B) Tufos pouco soldado e depósitos de cinza.....	12
Figura 8: (A) Aglomerado de grandes litofisas. (B) Textura concêntrica do tipo "casca de cebola".12	
Figura 9: (A) Dobramento magmático em riolito bandado por fluxo. (B) Dobras de fluxo apertado e recubentes em tufos de fluxo piroclástico. (C) Pequenas vesículas e vesículas alongadas em um tufo eutaxico. (D) Riolito bandado por fluxo magmático com clastos de riolitos rolados.....	14
Figura 10: Representação esquemática da Lei de Bragg. Relação entre ângulo de incidência (θ), espaçamento interplanar (d) e comprimento de onda (λ) dos raios X, expressa pela equação $n\lambda = 2d \sin \theta$ (Cullity, 1978). Esta lei fundamenta o princípio físico da difracção de raios X.	21
Figura 11: Difractograma	21
Figura 12: Material usado para o trabalho de campo	23
Figura 13: Materias usados na preparação de lâminas delgadas. A) Material geral usado; B) Amostra de Riolito; C) Equipamento usado para efectuar o primeiro corte da amostra, com uma serra adiamantada; D) Esquirolas; E) Equipamento usado para efetuar o despolimento; F) Po e lixa usados no polimento.	25
Figura 14: Materias usados na preparação de lâminas delgadas. G) Superfície despolida da Esquirola colada a superfície polida do vidro; H) Equipamento usado para redução da esquirola colada ao vidro até que esta atingisse a espessura ideal de 0,063mm (máquina de segundo corte); I) Equipamento Welch(modelo 2515) acoplada à máquina do segundo corte, utilizado no desgaste controlado da lâmina delgada.	25
Figura 15: Microscopia óptica. A) Microscópio óptico; B) Descrição microscópica.	26
Figura 16: Etapas de preparação e análise de amostras para Difracção de raios X (XRD). A) Amostra de Riolito; B) Equipamento utilizado para trituração de amostras brutas, reduzindo o tamanho das particulas para menos de 4 mm; C) Amostras trituradas; D) Peneirador	27
Figura 17: : Etapas de preparação e análise de amostras para Difração de raios X (DRX). E) Pó peneirado; F) Material utilizado na preparação das amostras; G) Porta amostras preenchido com pó da amostra; H) Equipamento de XRD (marca Rigaku) com porta-amostras posicionadas para leitura de dados.	28
Figura 18: Mapa de amostragem	29
Figura 19: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. A: Afloramento ANE-01; B: Afloramento ANE-02; C: Afloramento ANE-03.	31

Figura 20: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. D: Afloramento ANE-04; E: Afloramento ANE-05; F: Afloramento ANE-06.....	32
Figura 21: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. G: Afloramento ANE-07; H: Afloramento ANE-08; I: Amostra de ANE- 09; J: Amostra de ANE-10.....	33
Figura 22: Fotomicrografias ilustrando as características petrográficas comuns observadas nos riólitos analisados. Fenocristais de quartzo e sanidina imersos em matriz microlítica parcialmente devitrificada e micrólitos de plagioclase. Qtz: quartzo; Snd: sanidina; Plg: plagioclase; Opc: minerais opacos.	35
Figura 23: Fotomicrografias evidenciando feições de devitrificação e texturas esferulíticas nos riólitos estudados. (C) Esferulitos esféricos e matriz microlítica devitrificada na amostra ANE 01; (D) esferulitos axiolíticos em quartzo e feições de crescimento radial na amostra ANE 02. Esf: esferulitos; E.Ax: esferulitos axiolíticos; Qtz: quartzo.....	36
Figura 24: Fotomicrografias ilustrando alterações secundárias nos riólitos analisados. (E-F) Sericitização e oxidação associadas a minerais opacos na amostra ANE 02. Ser: sericite; Hem: hematite.	37
Figura 25: Fotomicrografias mostrando feições texturais distintivas nas amostras ANE 01 e ANE 02. (A) microveio de quartzo na amostra ANE 02. (B) Esferulitos axiolíticos e matriz devitrificada na amostra ANE 01; Qtz: quartzo; E.Ax: esferulitos axiolíticos.....	38
Figura 26: Fotomicrografias ilustrando texturas criptocristalinas e feições de alteração nas amostras ANE 03 e ANE 04. (C) Matriz criptocristalina parcialmente devitrificada na amostra ANE 03; (D) microveio de feldspato com minerais alterados e oxidação na amostra ANE 04. Fdp: feldspato....	39
Figura 27: Fotomicrografias evidenciando feldspatos alcalinos e alterações secundárias nas amostras ANE 05 e ANE 06. (E) Esferulitos de devitrificação na amostra ANE 05; (F) matriz microlítica devitrificada e presença de cristais de anortoclase na amostra ANE 06. Ano: anortoclase; E.dv: esferulito de devitrificação; Hem: hematite; Qtz:: Quartzo.	40
Figura 28: Fotomicrografias mostrando características petrográficas das amostras ANE 07 e ANE 8. (G) Fenocristais de Sanidina euédricos distribuídos ao longo de uma matriz microlítica de plagioclase na amostra ANE 07; (H) Fenocristais de Sanidina subédricos distribuídos ao longo de uma matriz microlítica de plagioclase na amostra ANE 08; Plg: plagioclase; Opc: opacos; Dev: devitrificação; Hem: hematite; Snd: sanidina.....	41
Figura 29: Fotomicrografias mostrando características petrográficas das amostras ANE 9 e ANE 10. (I) Agregado de plagioclase com extinção concêntrica na amostra ANE 09; (J) Esferulitos esféricos na amostra ANE 10. Plg: plagioclase; Ser: sericite; Esf: esferulito; Opc: opacos; Hem: hematite; Qtz: quartzo.	42

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Coordenadas geográficas das amostras e análises realizadas (uso)	58
Anexo 2: Proporções modais das amostras	58
Anexo 3: Difractograma XRD da amostra ANE01. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Md= mordenite; Hem= hematite.</i>	59
Anexo 4: Difractograma XRD da amostra ANE02. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Zr= zircão; Qtz= quartzo; Hem= hematite.</i>	59
Anexo 5: Difractograma XRD da amostra ANE03. <i>Ser= sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Hem= hematite.</i>	60
Anexo 6: Difractograma XRD da amostra ANE04. <i>Msc= muscovite; Alb= albite; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Cbt= cristobalite; Zr= zircão; Hem= hematite.</i>	60
Anexo 7: Difractograma XRD da amostra ANE05. <i>Msc= muscovite; Ant=Anortoclase; Ser= sericite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo Zr= zircão; ; Hem= hematite.</i>	61
Anexo 8: Difractograma XRD da amostra ANE06. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Ant= anortoclase; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Zr= zircão; Hem= hematite.</i>	61
Anexo 9: Difractograma XRD da amostra ANE07. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Hem= hematite.</i>	62
Anexo 10: Difractograma XRD da amostra ANE08. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Kao= caulinite Zr= zircão; Hem= hematite.</i>	62
Anexo 11: Difractograma XRD da amostra ANE09. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Zr= zircão; Hem= hematite.</i>	63
Anexo 12: Difractograma XRD da amostra ANE10. <i>Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Hem= hematite.</i>	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

% – Percentagem

2θ – Ângulo de difracção

ARA-SUL – Região Administrativa Sul

BS – clima seco de Estepe

BSW – clima seco de Estepe com estação seca

Bt – Biotite

CVL – Cadeia Vulcânica dos Libombos

Fig. – Figura

GPS – Global Positioning System

GTK – Consortium dos Serviços Geológicos da Finlândia

Hem – Hematite

ICDD – International Centre for Diffraction Data

INE – Instituto Nacional de Estatística

IUGS – International Union of Geological Sciences

K₂O – Óxido de potássio

Kln – Caulinite

Km - Kilómetro

kV - Kilovolts

KLIP – Karoo Large Igneous Province

λ – Comprimento de onda

MAE – Ministério de Administração Estatal

MEV – Microscópio Eletrónico de Varredura

mm – Milímetro

mA - Miliampères

Msc – Muscovite

Na₂O– Óxido de Sódio

Opc – Minerais opacos

Plg – Plagioclase

Ppl – Luz polarizada plana

QAPF – Diagrama QAPF

Qtz – Quartzo

SC – Subcomissão (IUGS)

Ser – Sericite

SiO₂ – Dióxido de silício

SiO₄ – Grupo tetraédrico silicato

Snd – Sanidina

TAS – Total Alkali vs. Silica

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

µm – Micrómetro

XPL – Luz polarizada cruzada

XRD – Difração de Raios X

CAPÍTULO I – GENERALIDADES

1. Introdução

A Cadeia Vulcânica dos Libombos, situada no extremo sul de Moçambique, constitui uma das expressões mais marcantes do magmatismo da região sul de Moçambique associado à Província Ígnea do Karoo, um dos maiores eventos vulcânicos continentais do Mesozóico (Moreira, 1999). Esta cadeia é constituída pelos Pequenos e Grandes Libombos. Nos Pequenos Libombos ocorreram extensos derrames e depósitos vulcano-ácidos, predominantemente riolitos e rochas piroclásticas associadas, formados no contexto de vulcanismo fissural e subsequentes processos tectono-magmáticos regionais (GTK Consortium, 2006a). Embora constituam uma unidade de grande relevância para a reconstituição geológica do sul de Moçambique, estas rochas carecem ainda de vários estudos de caracterização do ponto de vista petrográfico e mineralógico.

Os estudos existentes concentram-se, sobretudo nos mapeamentos regionais e em descrições macroscópicas generalizadas, o que resulta em classificações incompletas e sem detalhes em relação às suas variações mineralógicas e texturais. Essa limitação é particularmente relevante em rochas vulcano-ácidas, devido à sua exposição por longos períodos aos processos de meteorização, devitrificação, sericitização e oxidação que podem alterar significativamente a mineralogia original sem modificar de imediato o aspecto externo das rochas aflorantes.

A caracterização mineralógica e textural destas rochas requer análises microscópicas e laboratoriais adequadas, uma vez que os minerais essenciais e acessórios, bem como as suas texturas podem ser rapidamente alteradas no decurso do tempo geológico. Em rochas vulcânicas a microscopia em luz transmitida pode ser insuficiente para o conhecimento mais detalhado, sendo necessária a utilização de técnicas complementares, como a difracção de raios X, para confirmar as fases e as estruturas cristalinas e reconhecer minerais e os produtos de alteração (Philpotts & Ague, 2009). A integração entre os estudos petrográficos e a Difracção de Raios X (XRD) é fundamental para o estudo da evolução geológica, dos processos magmáticos e pós-magmáticos que afectaram as rochas no decurso do tempo geológico.

Neste contexto, pretende-se com este trabalho o estudo petrográfico e mineralógico detalhado. O estudo integra observações de campo, análise laboratoriais de microscopia óptica em lâmina delgada e difracção de raios X, que permitiram obter mais conhecimento das associações mineralógicas, texturas primárias e secundárias e os minerais de alteração para melhorar o

conhecimento actualmente existente e eventualmente o seu potencial geológico, uma vez que essas rochas têm sido usadas na região sul como materiais de construção. Esta abordagem oferecerá uma descrição sistematizada e tecnicamente fundamentada de uma unidade cuja caracterização tecnológica permanece pouco conhecida na literatura regional.

Ao consolidar as informações estruturadas sobre a mineralogia e as texturas destes riolitos, o estudo irá contribuir para o aprimoramento do conhecimento geológico da região, reforçando a compreensão da sua evolução magmática e estabelecendo uma base científica sólida para investigações futuras.

1.1.OBJECTIVOS DO TRABALHO

Para realização deste trabalho foram definidos os seguintes objetivos :

1.1.1. Objectivo geral

- ✚ Caracterizar petrográfica e mineralogicamente os riolitos dos Pequenos Libombos, por meio da integração de análises petrográficas em lâmina delgada e difracção de raios X, visando identificar a composição mineralógica, as texturas e os processos pós-magmáticos que afectaram estas rochas.

1.1.2. Objectivos específicos

- ✚ Identificar a mineralogia essencial e acessória das amostras de riolito;
- ✚ Descrever as microtexturas petrográficas e suas implicações genéticas;
- ✚ Determinar as fases cristalinas presentes através da difracção de raios X.

1.2. RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A região sul de Moçambique, em particular a área dos Pequenos Libombos, é constituída por rochas vulcano-ácidas que, embora reconhecidas em mapeamentos regionais, permanecem pouco estudadas em termos de mineralogia e textura detalhada. Até o momento, a classificação dessas unidades tem sido baseada principalmente em observações macroscópicas de campo, sem validação laboratorial sistemática. Esta abordagem limita o entendimento dos processos magmáticos e pós-magmáticos que influenciaram a formação e evolução dessas rochas, como devitrificação, sericitização e alterações hidrotermais, podendo mascarar variações mineralógicas importantes.

A aplicação integrada de petrografia em lâminas delgadas e análise por difracção de raios X (XRD) permite identificar fases cristalinas essenciais, minerais acessórios e produtos de alteração, incluindo aqueles não detectáveis por microscopia óptica convencional. Esta caracterização detalhada fornece informações sobre a estrutura cristalina, composição mineralógica e alterações pós-magmáticas, preenchendo lacunas significativas no conhecimento geológico regional.

Adicionalmente, a área de estudo apresenta recursos geológicos relevantes, como riолitos e basaltos, utilizados como pedras para construção e ornamentação, evidenciando o valor prático desses materiais. Embora a relevância científica do trabalho seja prioritária, esta informação reforça a importância da região, mostrando que o conhecimento detalhado sobre suas rochas contribui também para o aproveitamento sustentável de seus recursos geológicos.

Dessa forma, este estudo amplia o conhecimento científico sobre os riолitos dos Pequenos Libombos e fornece subsídios técnicos que podem orientar futuras pesquisas geológicas e aplicações práticas, preenchendo lacunas importantes na literatura e consolidando a compreensão da evolução magmática e das alterações pós-magmáticas da região.

1.3.ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

1.3.1. Enquadramento Geográfico

O Distrito de Boane localiza-se no sul da República de Moçambique, na região sudoeste da Província de Maputo, entre as latitudes 25° 46' 36'' Sul e 26° 15' 42'' Sul e as longitudes 32° 10' 36'' Este e 32° 30' 42'' Este. A Norte é limitado pelo Distrito de Moamba, a Este pelo Município da Matola e o Distrito Municipal da Katembe, a sul e sudeste pelo distrito de Matutuíne, a oeste e sudoeste pelo o Distrito de Namaacha (MAE, 2005).

Com uma área territorial de aproximadamente 820 km², o distrito de Boane encontra-se a cerca de 30 km da cidade de Maputo, a capital do país. O distrito está dividido em dois postos administrativos, designadamente Boane e Matola-Rio. O primeiro é constituído pelas localidades da Vila de Boane, Eduardo Mondlane e Gueguegue, e o segundo Matola-Rio abrange a Vila de Matola-Rio.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

Os principais afluentes do rio Umbeluzi são o rio Moveene e Nwlate, bem como pequenas bacias hidrográficas (Chambadejova, Xangule, Mecaxuane e Mahube) sazonais, que auxiliam a drenagem local.

A bacia do rio Tembe (Fig 02), possui uma área total de 2.865 km² e nasce no Sul de Mocambique, perto da fronteira com o reino de E-Swantini, percorrendo o distrito de Matutuine e desaguando na Baía de Maputo.

A bacia do rio Matola (Fig 02), com uma área de 2.382 km², nasce no sul de Moçambique, na região de Vundiça, no distrito de Moamba, percorrendo o município da Matola e desaguando no Estuário do Espírito Santo, na Baía de Maputo (ARA-SUL, 2017).

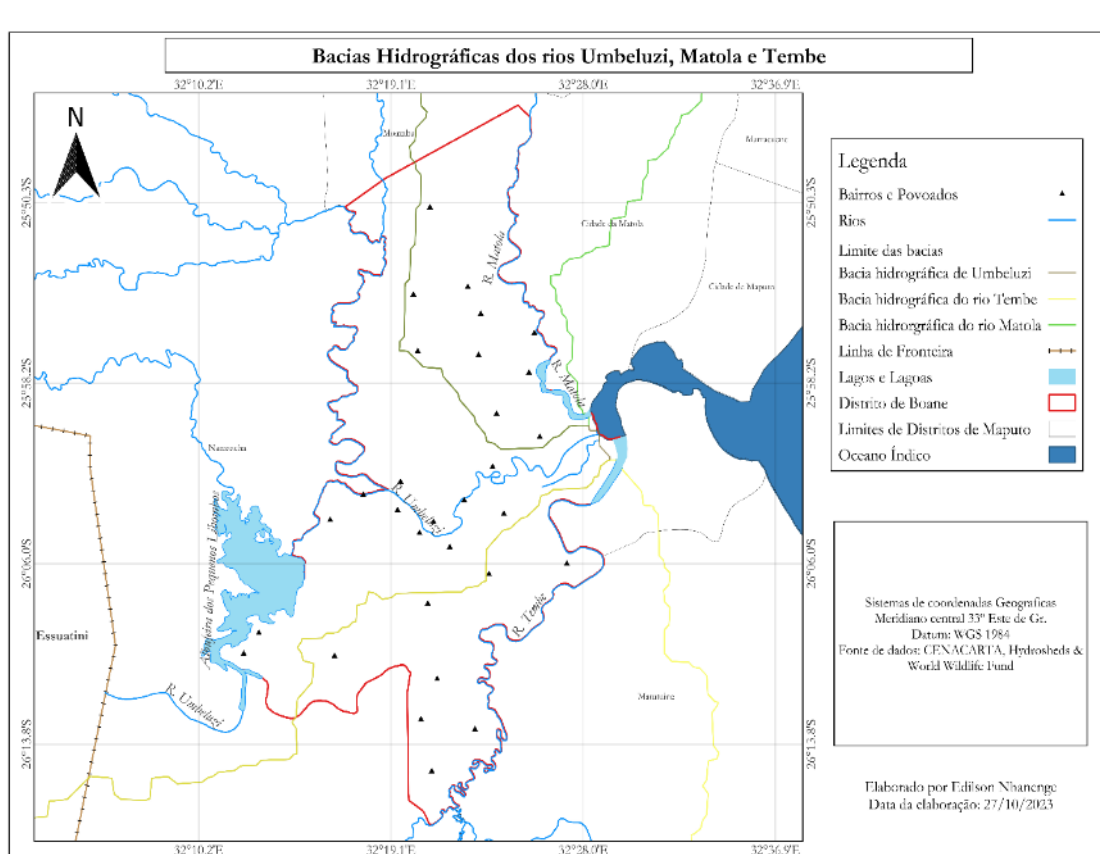


Figura 2: Rios e bacias hidrográficas que atravessam o Distrito de Boane. FONTE: Nhanenge (2024).

1.3.3. Relevo e Solos

O relevo do sul de Moçambique é predominantemente constituído por planícies, destacando-se apenas a Cordilheira dos Libombos como região de maior altitude. O terreno do distrito de Boane é caracterizado por extensas planícies, áreas planas e depressões, apresentando cotas altimétricas

1.4. Enquadramento Geológico

Nesta secção pretende-se apresentar sinteticamente os principais traços da geologia da África Austral de modo a enquadrar os processos tectónico-magmáticos que ocorreram no sector em estudo num contexto geodinâmico mais vasto.

1.4.1. Enquadramento geológico regional

Os terrenos que compõem a área de estudo localizam-se no extremo sul da República de Moçambique e resultaram da acção sucessiva de vários eventos geológicos que se fizeram sentir durante o karoo, em Moçambique.

Geologicamente, o distrito de Boane está inserido no Monoclinal dos Libombos, unidade estrutural que integra a Cadeia Vulcânica dos Libombos (CVL). Esta cadeia constitui um alinhamento linear com orientação norte-sul, estendendo-se por aproximadamente 600 km de comprimento e 20 a 30 km de largura, desde a fronteira de Moçambique com a África do Sul até o Reino de E-Swatini (GTK Consortium, 2006a; Moreira, 1999).

A Cadeia Vulcânica dos Libombos corresponde a uma feição vulcânica associada à Província Ígnea do Karoo (Karoo Large Igneous Province - KLIP), um dos maiores eventos magmáticos do Mesozóico. Segundo Bande (2024), citando Sweeney (1986), a CVL foi formada pelo vulcanismo fissural, e depois sofreu influência de movimentos tectónicos ligados ao dobramento da margem Este do continente africano.

Esses processos originaram duas dobras assimétricas: os Grandes Libombos, com elevações que raramente ultrapassam 550 m, e os Pequenos Libombos, onde as altitudes atingem até 300 m (Moreira, 1999).

As rochas que constituem a CVL são de idade Jurássico-Cretácico, resultantes do magmatismo do Karoo. No extremo Este, essas unidades são parcialmente cobertas por formações sedimentares meso-cenozóicas da Bacia de Moçambique, cuja espessura pode variar de 6 a 13 km (GTK Consortium, 2006a).

Segundo Miambo (1996), as formações geológicas do distrito de Boane agrupam-se em três conjuntos principais:

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

- as rochas extrusivas, nomeadamente os riolitos da CVL e os basaltos de Impaputo e de Movene,
- as formações sedimentares, nomeadamente os depósitos cretácicos e terciários que incluem o grés de Boane, uma unidade continental que ocorre na forma de manchas alongadas próximas do Rio Tembe e
- os Depósitos Quaternários aluvionares do Vale do Rio Umbeluzi que apresentam seixos constituídos por fragmentos de quartzo, basalto e riolito, provenientes da erosão, transporte e deposição das rochas dos Pequenos Libombos ao longo das margens e terraços fluviais do Rio Umbeluzi.

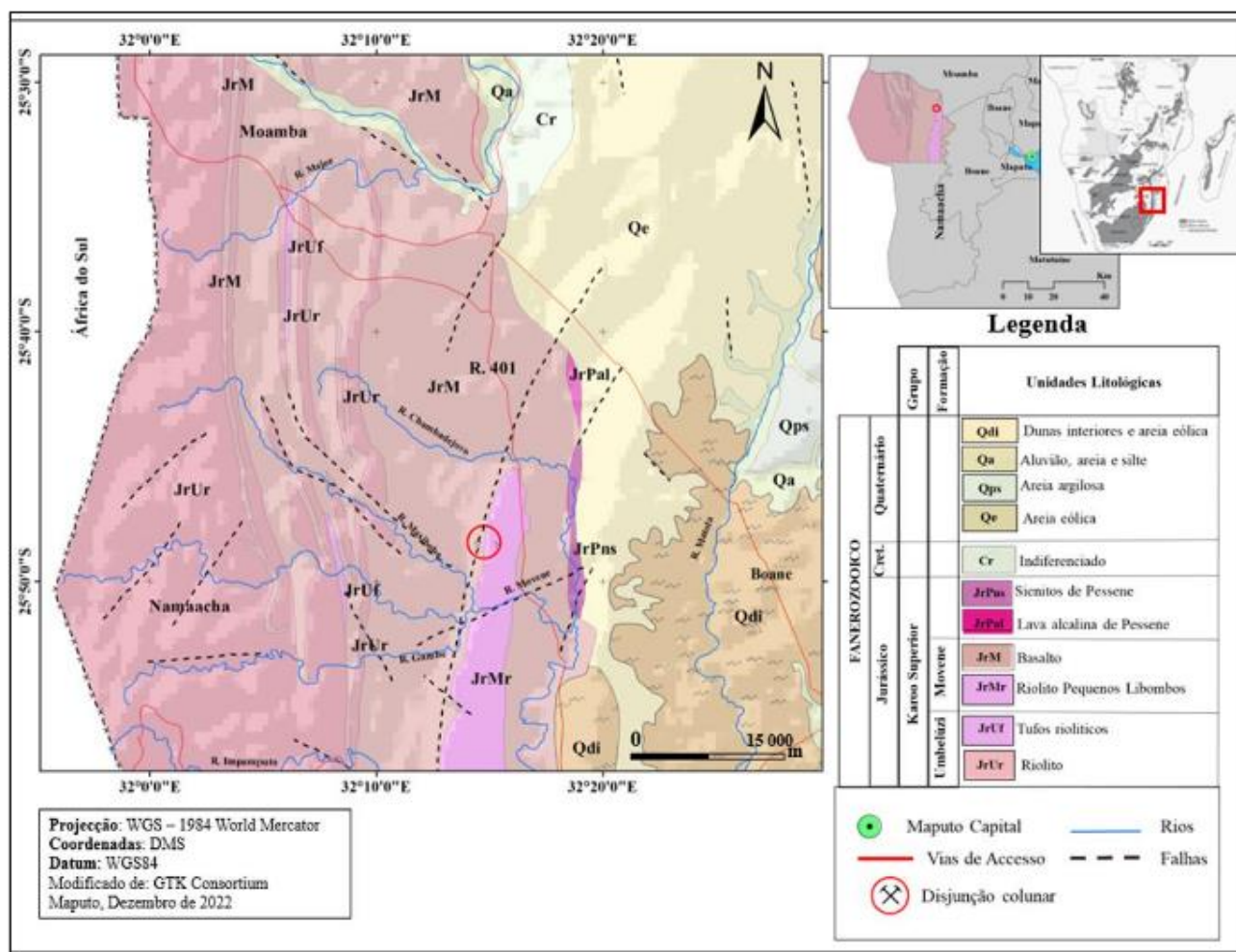


Figura 4: Enquadramento geológico regional do monoclinal dos Libombos. Mapa adaptado de GTK Consortium (2006a). Fonte: Bande (2024).

As diferenças de textura e coloração entre os afloramentos reflectem distintos graus de alteração pós-magmática. Os riolitos mais preservados apresentam aspecto compacto e tonalidade clara, e os mais alterados apresentam coloração amarelada a acastanhada, decorrente de processos de sericitização e oxidação de feldspatos e minerais ferromagnesianos.

1.4.2.1. Formação Moveene (JrM)

Segundo o GTK Consortium, 2006a, a formação Moveene representa a unidade litológica mais superior do Monoclinial dos Libombo, estendendo-se por mais de 400 km desde o rio Maputo, na fronteira com a África de Sul, até ao rio singuedzi, ao norte da barragem de Massingir e as formações quaternárias, a Este, a formação Moveene compreende principalmente uma sucessão de fluxos de lava basáltica, incluindo também fluxos de riolitos intercalados pertencentes ao Membro dos Pequenos Libombos.

a) Basaltos (JrM)

As lavas basálticas da Formação Moveene encontram-se pouco expostas relativamente às rochas vulcânicas félsicas. A maior parte dos afloramentos encontra-se localizados em rios ou em margens de rios. Alguns afloramentos também podem ser encontrados em locais topograficamente mais altos, cobertos por unidades de riolitos (Fig. 5) (GTK Consortium, 2006a).



Figura 6: Contacto entre riolitos do Membro dos Pequenos Libombos (parte superior) e basaltos da formação Movene (parte inferior). Fonte: Adaptado do GTK consortium, volume 1. Escala: martelo de 65cm.

b) Membro Riolíptico dos Pequenos Libombos (JrMr)

Segundo o GTK Consortium, 2006a, o membro riolíptico dos Pequenos Libombos, localizado na parte superior da Formação Movene, é constituído por uma sucessão de rochas vulcânicas félsicas dominadas por tufos de fluxo piroclástico com diferentes graus de soldagem, que afloram formando uma extensa crista ao longo da região. O membro apresenta continuidade lateral significativa e espessura variável, constituindo um horizonte litológico relativamente resistente em relação às rochas basálticas adjacentes, e encontra-se estruturalmente segmentado por falhas e fraturas com direção predominante NW–SE. Internamente, observa-se uma sucessão vertical caracterizada pela ocorrência, na base do membro, de brechas tufáceas e horizontes de tufos pouco soldados associados a níveis de cinzas vulcânicas (Fig. 7 A–B), os quais passam gradualmente para níveis superiores compostos por riolitos bandados e deformados por fluxo magmático, reflectindo a

evolução dos processos eruptivos e formacionais. O contacto inferior exhibe zonas afetadas por alteração hidrotermal (Fig. 8A). O membro é ainda caracterizado pela presença de aglomerados de litofisas — cavidades esferoidais revestidas por cristais formadas durante a recristalização tardia do riolito — (Fig. 8A), algumas apresentando textura concêntrica do tipo “casca de cebola” bem desenvolvida (Fig. 8B).

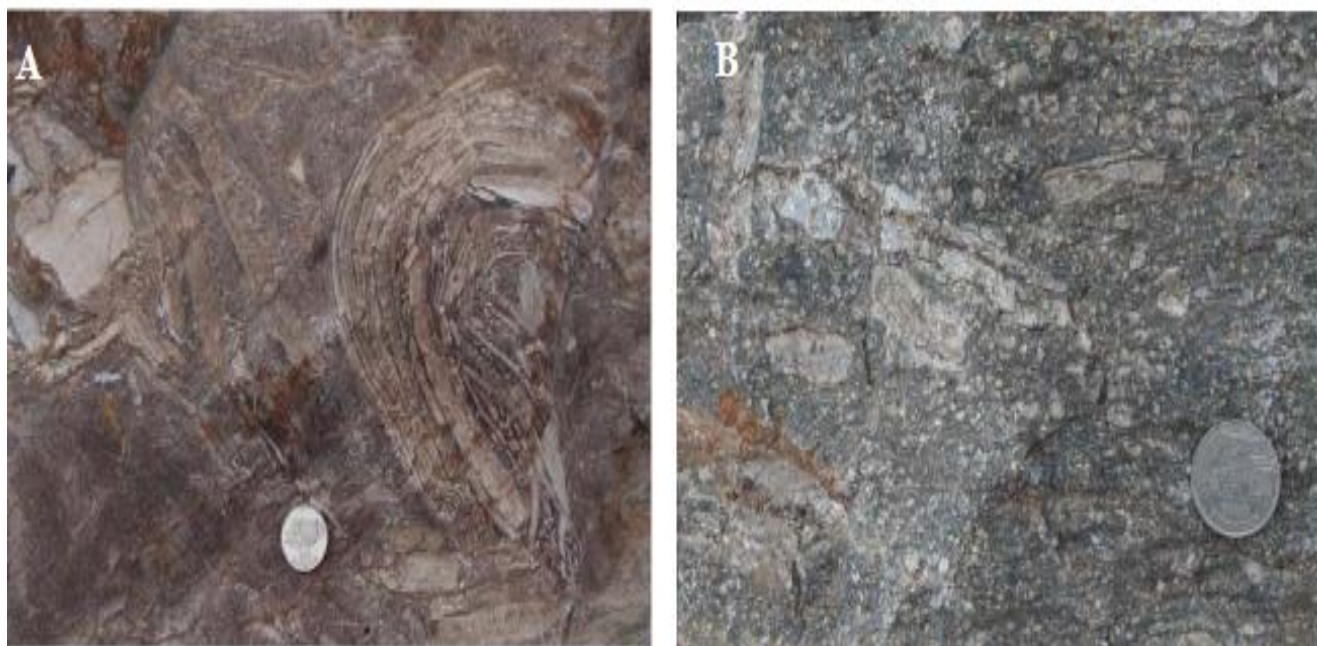


Figura 7: (A) fragmento de tufos deformados plasticamente. (B) Tufos pouco soldado e depósitos de cinza. Fonte: GTK, 2006a.



Figura 8: (A) Aglomerado de grandes litofisas. (B) Textura concêntrica do tipo "casca de cebola". Fonte GTK, 2006a.

As litologias dominantes do Membro riolítico dos Pequenos Libombos da Formação Movenne consiste em tufos de fluxo piroclástico, amplamente expostos nas pedreiras de agregados da região.

As rochas apresentam granulação fina e coloração vermelha-acastanhada escura, sendo frequentemente marcadas por bandamento de fluxo (Figs. 9A-B).

O riolito bandado contém lâminas milimétricas ($\leq 1-2$ mm) com tonalidades que variam de verde-escuro a marrom-claro e avermelhado, incluindo numerosos esferulitos ($< 0,5$ mm) e fenocristais dispersos de quartzo e feldspato (Fig. 9D).

Em áreas onde a soldagem é menos intensa, preservam-se filamentos alongados (fiamme) e vesículas arredondadas a lenticulares (Fig. 9C).

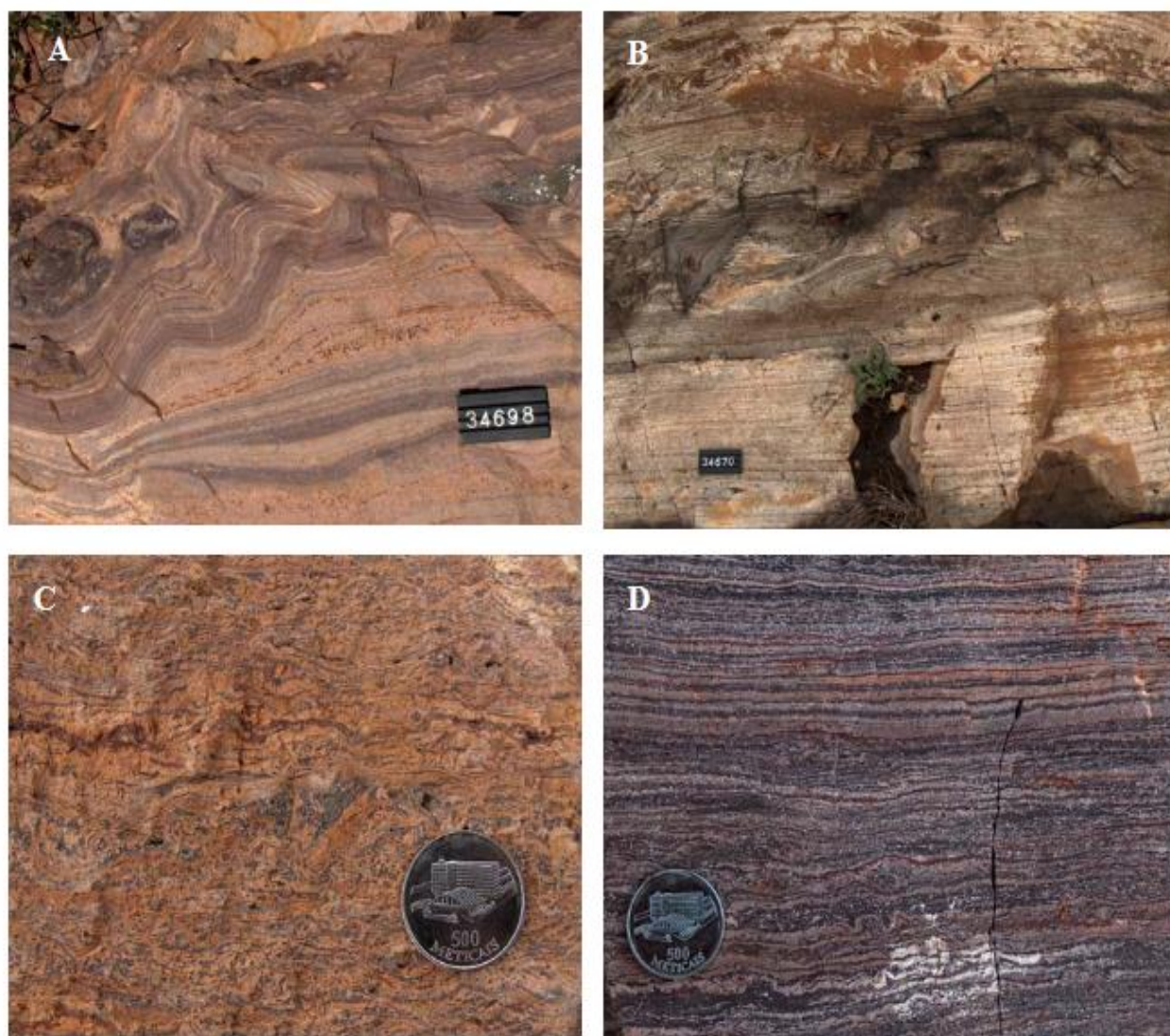


Figura 9: (A) Dobramento magmático em riolito bandado por fluxo. (B) Dobras de fluxo apertado e recubentes em tufo de fluxo piroclástico. (C) Pequenas vesículas e vesículas alongadas em um tufo eutaxico. (D) Riolito bandado por fluxo magmático com clastos de riolitos rolados. Fonte: GTK, 2006a.

CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Rochas Ígneas

As rochas ígneas resultam da consolidação de magmas, cuja composição e condições de formação controlam diretamente sua mineralogia, textura e comportamento físico. De acordo com Winter (2010), a evolução química do magma é influenciada por processos como fusão parcial, assimilação crustal, mistura de magmas e cristalização fracionada, que modificam a proporção de elementos incompatíveis e condicionam a estrutura química do líquido.

Segundo Philpotts e Ague (2009), a composição magmática determina propriedades fundamentais como viscosidade, densidade e capacidade de reter voláteis. Em magmas félsicos, o alto teor em sílica promove uma forte polimerização da estrutura do líquido, restringindo sua fluidez. Conforme McBirney (2007), magmas riolíticos podem atingir viscosidades de várias ordens de magnitude superiores às de magmas basálticos, o que limita significativamente sua mobilidade e favorece a acumulação de gases.

A taxa de arrefecimento também exerce um papel determinante no desenvolvimento das texturas. De acordo com Winter (2010), o arrefecimento rápido típico das lavas ácidas extrusivas impede o crescimento mineral extenso, originando matrizes finas ou vítreas. Contudo, a história térmica do magma é raramente homogênea. Segundo Philpotts e Ague (2009), variações locais de temperatura, nucleação múltipla e a presença de cristais pré-existentes como antecristais ou xenocristais, podem gerar texturas complexas, caracterizadas pela coexistência de fenocristais bem desenvolvidos com matrizes microcristalinas.

A evolução pós-magmática também modifica significativamente as rochas ígneas. Conforme Vernon (2004), processos como devitrificação, oxidação e alteração hidrotermal podem transformar a matriz e alterar a mineralogia essencial sem modificar substancialmente o aspeto externo da rocha. Para McPhie et al. (1993), o reconhecimento destas feições é fundamental para interpretar a história de consolidação de magmas félsicos e reconstruir o regime térmico pós-eruptivo.

2.2. Riolitos

Os riolitos constituem rochas vulcânicas félsicas altamente diferenciadas, caracterizadas por elevados teores de sílica e por propriedades reológicas que condicionam de forma significativa o

estilo eruptivo e a textura resultante. De acordo com Winter (2010), os riolitos representam o extremo mais evoluído das rochas ígneas extrusivas, com teores de SiO₂ geralmente superiores a 70%, resultando numa forte polimerização do líquido magmático.

Segundo McBirney (2007), esta elevada polimerização aumenta drasticamente a viscosidade do magma, limitando o seu fluxo e favorecendo tanto a extrusão lenta de domos quanto a retenção de voláteis. Estes factores tornam os riolitos particularmente propensos a estilos eruptivos explosivos, frequentemente associados à formação de depósitos de cinzas, pedra-pomes e ignimbritos.

A mineralogia essencial dos riolitos é dominada por quartzo, feldspato potássico (geralmente sanidina) e plagioclase rica em sódio. Conforme Philpotts e Ague (2009), esta assembleia mineral reflecte líquidos residuais enriquecidos em sílica e álcalis, típicos de magmas altamente evoluídos. Os minerais máficos são escassos e geralmente representados por biotite, anfíbolito ou minerais opacos em pequenas proporções. A presença de minerais acessórios, como zircão, apatite, monazite e titanite, regista os estágios finais da cristalização e fornece informações importantes sobre o enriquecimento em elementos incompatíveis.

A génese dos magmas riolíticos está directamente relacionada à fusão parcial de material crustal. De acordo com Winter (2010), a geração destes magmas ocorre preferencialmente em contextos onde a crosta continental é espessa, quente e enriquecida em elementos radiogénicos, favorecendo a anatexia. Por outro lado, conforme McBirney (2007), a intrusão de magmas basálticos no interior da crosta pode fornecer o calor necessário para desencadear fusão parcial, ao mesmo tempo que contribui para processos de assimilação e mistura magmática.

A evolução destes magmas inclui longos períodos de armazenamento em câmaras superficiais. Segundo Hildreth e Moorbath (1988), câmaras riolíticas podem permanecer activas durante dezenas a centenas de milhares de anos, sofrendo ciclos repetidos de rejuvenescimento térmico, cristalização fracionada e segregação de voláteis. Este comportamento prolongado explica a presença frequente de cristais herdados (antecristais) e xenocristais nos riolitos, evidências de histórias magmáticas complexas.

A elevada viscosidade dos magmas riolíticos condiciona profundamente a dinâmica eruptiva. De acordo com Sparks et al. (1977), a baixa mobilidade favorece a extrusão de massas de lava lentas e

espessas, formando domos, coulees e estruturas de fluxo altamente deformadas. Alternativamente, o aprisionamento de voláteis pode levar a erupções explosivas que produzem fluxos piroclásticos e extensos depósitos ignimbríticos. Em ambos os cenários, a rápida dissipação térmica gera matrizes finas ou vítreas, frequentemente sujeitas à devitrificação posterior.

Assim, os riolitos representam rochas cuja mineralogia, textura e comportamento eruptivo reflectem uma combinação complexa entre fusão crustal, diferenciação prolongada, viscosidade extrema e condições eruptivas variáveis. Estes fatores tornam sua caracterização petrográfica e mineralógica uma ferramenta indispensável para reconstruir a evolução magmática e tectónica de sistemas vulcânicos continentais.

2.2.2. Texturas e Microestruturas

As texturas e microestruturas dos riolitos resultam da combinação entre elevada viscosidade, rápida perda de calor e processos pós-eruptivos que modificam significativamente a matriz original. De acordo com Winter (2010), a textura porfirítica é uma das mais comuns em rochas vulcânicas ácidas, reflectindo um estágio inicial de cristalização em profundidade, responsável pela formação de fenocristais, seguido de extrusão rápida, que solidifica a matriz em estado fino ou vítreo antes que os cristais possam crescer plenamente.

A matriz vítrea ou microcristalina é altamente suscetível a transformações posteriores. Segundo McPhie, Doyle e Allen (1993), o vidro vulcânico é termodinamicamente instável em escalas de tempo geológico, tendendo a recrystalizar por devitrificação. Esse processo origina agregados microcristalinos de quartzo e feldspato, que assumem padrões estruturais específicos. Entre as feições mais características encontram-se os esferulitos, que representam domínios radiais de crescimento cristalino.

Conforme Lofgren (1971, 1979), os esferulitos podem ser classificados em radiais simples ou axiolíticos, dependendo da orientação das fibras de quartzo e feldspato. Os esferulitos axiolíticos desenvolvem-se quando os cristais crescem preferencialmente a partir de superfícies ou interfaces, resultando em fibras alinhadas ao longo de um eixo central. Este tipo de estrutura é típico de devitrificação em condições de elevada supersaturação e rápido transporte difusivo.

Outro tipo de microestrutura comum em riolitos evoluídos é o intercrescimento gráfico ou granofírico, que resulta da cristalização simultânea de quartzo e feldspato em líquidos ricos em

sílica. Segundo Barker (1970), estas estruturas reflectem elevada polimerização do magma e condições de cristalização tardias, frequentemente associadas aos resíduos intersticiais das lavas riolíticas.

Além das texturas de devitrificação, diversas evidências de desequilíbrio magmático podem estar presentes. De acordo com Philpotts e Ague (2009), cristais corroídos, bordas reabsorvidas, zoneamento caótico e inclusões minerais complexas podem indicar episódios de mistura magmática e/ou incorporação de cristais pré-existentes (antecristais e xenocristais).

A alteração pós-magmática também actua na modificação da matriz. Conforme Vernon (2004), processos hidrotermais de baixa temperatura podem gerar sericitização dos feldspatos, oxidação de minerais ferromagnesianos e formação de minerais opacos secundários, produzindo variações de cor e textura mesmo em amostras que permanecem macroscopicamente homogêneas.

Assim, as texturas e microestruturas encontradas nos riolitos representam uma combinação de processos primários, relacionados à história térmica e à viscosidade do magma e secundários, que reflectem a reorganização mineralógica e química após a solidificação. O reconhecimento destas feições constitui um elemento fundamental para a interpretação da evolução magmática e pós-eruptiva das rochas vulcânicas ácidas.

2.3. Petrografia

A petrografia constitui uma ferramenta essencial na caracterização de rochas, especialmente as vulcânicas ácidas, cuja matriz é fina ou parcialmente devitrificada, como os riolitos. De acordo com Winter (2010), a identificação mineralógica em lavas félsicas requer a observação das propriedades ópticas dos minerais em lâmina delgada, uma vez que a granulação fina impede o reconhecimento confiável à vista desarmada.

Os minerais essenciais presentes nos riolitos incluem o quartzo, o feldspato alcalino (sanidina ou ortoclase) e a plagioclase rica em sódio. Segundo Nesse (2012), o quartzo é facilmente reconhecido por seu relevo baixo, ausência de clivagem, extinção ondulante e cores de interferência de baixa ordem. Por sua vez, o feldspato potássico apresenta maclas simples de Carlsbad, enquanto as plagioclases exibem maclas polissintéticas características do tipo albite, frequentemente acompanhadas de zonamento oscilatório ou normal.

Os minerais máficos, quando presentes, ocorrem em pequenas quantidades. Conforme Deer, Howie e Zussman (1992), a biotite pode ser identificada pelo pleocroísmo castanho, relevo elevado e extinção paralela a ligeiramente ondulante, enquanto a muscovite apresenta cores de interferência fortes e hábito lamelar incolor. Minerais opacos e oxidados, como hematite e magnetite alterada, são comuns em riolitos expostos a condições pós-magmáticas de baixa temperatura.

A matriz dos riolitos é geralmente microcristalina ou vítrea, e pode apresentar sinais evidentes de devitrificação. De acordo com McPhie, Doyle e Allen (1993), a devitrificação gera micrólitos de quartzo e feldspatos, além de estruturas como esferulitos, axiolitos e agregados gráficos tardios, que representam reorganização mineralógica de um vidro originalmente amorfo. A presença dessas texturas constitui um registo directo da evolução térmica pós-eruptiva.

Feições de desequilíbrio magmático também são comuns. Segundo Philpotts e Ague (2009), cristais corroídos, bordas reabsorvidas, *overgrowths* e zoneamentos caóticos sugerem episódios de mistura magmática, assimilação crustal ou variações bruscas na temperatura da câmara magmática. Em riolitos, estas evidências podem indicar longos períodos de armazenamento e reativação térmica antes da erupção.

A alteração hidrotermal tardia afecta significativamente os feldspatos, conduzindo à sericitização, formação de epidoto incipiente e substituições micáceas. Conforme Vernon (2004), a sericitização manifesta-se por agregados de mica branca de granulação fina que substituem feldspatos, enquanto a oxidação de minerais máficos origina minerais opacos secundários e halos ferruginosos.

Assim, o estudo petrográfico dos riolitos fornece informações fundamentais sobre a mineralogia essencial, a evolução textural, os processos de devitrificação e os episódios pós-magmáticos que modificaram a rocha. A integração destas observações permite reconstruir de maneira detalhada a história magmática e pós-eruptiva das unidades vulcano-ácidas da região dos Pequenos Libombos.

2.4. Difracção de raios X

2.4.1. Origem e desenvolvimento dos raios X

O desenvolvimento da difracção de raios X está diretamente relacionado aos estudos realizados com tubos de raios catódicos no século XIX. O aperfeiçoamento das técnicas de produção de vácuo e de fabricação de tubos de vidro por Johann Heinrich Geissler permitiu a realização de experimentos envolvendo descargas elétricas em gases rarefeitos, possibilitando investigações sobre a estrutura da matéria (Caruso, 2006).

Posteriormente, J. J. Thomson demonstrou que os raios catódicos eram constituídos por partículas carregadas negativamente, posteriormente denominadas electrões, determinando a razão carga/massa dessas partículas (Tipler, 2014).

A descoberta dos raios X ocorreu em 1895, quando Wilhelm Conrad Röntgen observou uma radiação desconhecida capaz de atravessar materiais opacos e impressionar chapas fotográficas. Devido às suas propriedades desconhecidas na época, essa radiação foi denominada raios X. A capacidade de penetrar materiais levou à rápida aplicação dos raios X em diversas áreas, especialmente na medicina (Tipler, 2014).

2.4.2. Difracção de raios X e sua aplicação em riolitos

A difracção de raios X é uma técnica indispensável na identificação mineralógica de rochas de granulação fina e matrizes devitrificadas. O método baseia-se na interação dos raios X com planos cristalinos, produzindo padrões de difracção característicos que permitem identificar minerais com elevada precisão (Cullity, 1978).

A condição essencial para a ocorrência da difracção fornece a relação entre o ângulo θ , o espaçamento interplanar d e o comprimento de onda da radiação λ :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \text{ (Cullity, 1978)}$$

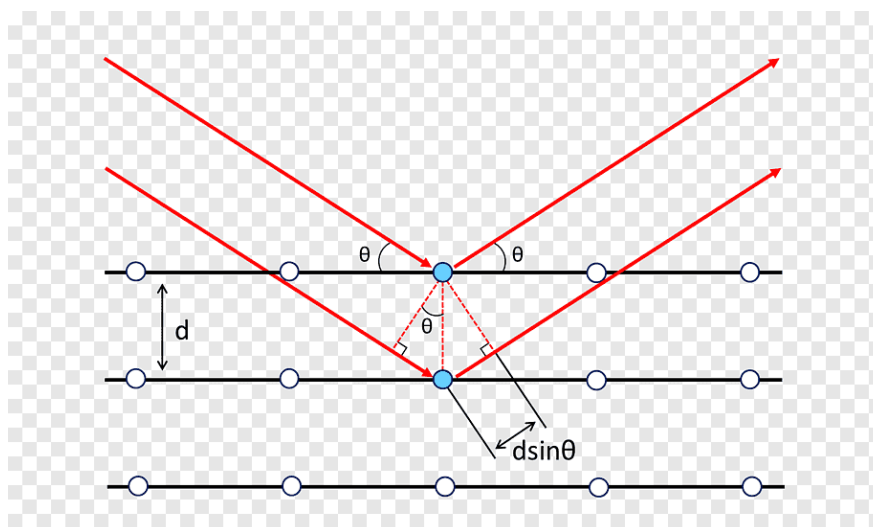


Figura 10: Representação esquemática da Lei de Bragg. Relação entre ângulo de incidência (θ), espaçamento interplanar (d) e comprimento de onda (λ) dos raios X, expressa pela equação $n\lambda = 2d \sin \theta$ (Cullity, 1978). Esta lei fundamenta o princípio físico da difração de raios X.

Em rochas vulcânicas como os riolitos, onde o quartzo, os feldspatos e os minerais muito finos coexistem com vidro vulcânico, a difração de raios X permite distinguir fases cristalinas, identificar argilominerais de alteração e até reconhecer o halo amorfo típico do vidro (Klug; Alexander, 1974). Cada mineral produz picos específicos no difractograma, permitindo a interpretação precisa de minerais essenciais e acessórios (Jenkins; Snyder, 1996; Moore; Reynolds, 1997).

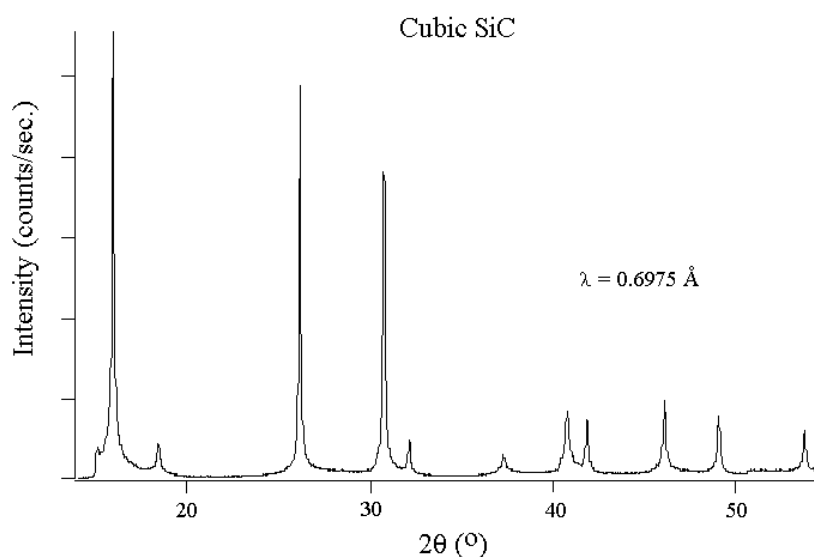


Figura 11: Difractograma

A difracção complementa a petrografia, superando limitações impostas pela granulação extremamente fina, e constitui uma das principais técnicas para confirmar a presença de minerais como sericite, caulinite, muscovite, feldspatos alcalinos, plagioclase e quartzo, que frequentemente apresentam sobreposição óptica ao microscópio (Moore; Reynolds, 1997).

CAPÍTULO III- METODOLOGIA

A actividade desenvolvida durante o período de preparação da monografia incluiu as seguintes etapas fundamentais: pesquisa bibliográfica, visita e colecta de amostras de campo, trabalho laboratorial e trabalho de gabinete.

A pesquisa bibliográfica incluiu, numa fase inicial, a consulta de mapas, relatórios de trabalho e publicações ligadas à região sul da Província do Maputo, em destaque para a literatura da região dos Pequenos Libombos como forma de sintetizar a informação disponível sobre a área em estudo. Posteriormente, já no decurso do trabalho, a consulta bibliográfica destinou-se fundamentalmente a apoiar a interpretação dos dados obtidos.

O levantamento bibliográfico revelou lacunas no conhecimento sobre a petrografia e mineralogia dos riolitos dos Pequenos Libombos, destacando a necessidade de uma investigação detalhada e sistemática dessas rochas.

3.1.Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado em Maio de 2025 nos Pequenos Libombos, com o propósito de reconhecer e seleccionar afloramentos representativos e proceder com a coleta de amostras para a análise laboratorial. Em cada ponto, foram registadas características macroscópicas relevantes, como cor, textura, estrutura, presença de vesículas, indícios de alteração e minerais visíveis. As coordenadas geográficas de cada ponto foram registradas com GPS Garmin 62s, acompanhadas de anotações descritivas e fotografias. As amostras foram devidamente acondicionadas até a etapa das análises laboratoriais. Os principais equipamentos utilizados foram: GPS Garmin 62s, bússola geológica Brunton True Arc 15, martelo de geólogo e celular com uma câmara fotográfica.



Figura 12: Material usado para o trabalho de campo

Assim, o trabalho de campo permitiu reunir informações essenciais sobre as características macroscópicas e variações texturais dos riolitos dos Pequenos Libombos, bem como seleccionar amostras representativas para as análises detalhadas.

As observações obtidas nesta etapa constituíram a base para os procedimentos laboratoriais subsequentes, apresentados a seguir, voltados à caracterização petrográfica e mineralógica das amostras por meio de microscopia óptica e difracção de raios X (XRD).

3.2.Preparação de Lâminas Delgadas

As lâminas delgadas foram preparadas no Laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane, com o objectivo de viabilizar a análise microscópica detalhada das amostras riolíticas.

Inicialmente, o corpo amostrado (Fig. 13B) foi cortado com recurso a uma serra diamantada Struers Labotom-5 (Fig. 13C), reduzindo o seu volume a dimensões compatíveis com a lâmina de vidro, sem comprometer a estrutura mineralógica. Em seguida, as superfícies de contato da esquírola e da lâmina de vidro foram desgastadas com abrasivo de granulação 600 no equipamento Struers Labopol-35 (Fig. 13E), removendo irregularidades e garantindo superfícies planas para o contacto uniforme. A face da esquírola foi refinada com lixa P500 (Fig. 13F) para maximizar a aderência e evitar bolhas durante a colagem.

A colagem foi realizada com resina epóxi na proporção de 15 ml de resina para 2 ml de endurecedor (Fig. 13A), aplicada entre a esquírola polida e a lâmina de vidro (Fig. 14G), evitando a formação de bolhas. O conjunto permaneceu em repouso por 12 horas à temperatura ambiente, garantindo a cura completa da resina e a estabilidade da lâmina.

Após a cura, realizou-se o segundo corte para remover o excesso de material da esquírola colada (Fig. 14H), seguido de desgaste progressivo com o equipamento Aspiration/Filtration Vacuum System modelo 2515 (WELCH, Fig. 14I), até atingir a espessura final de aproximadamente 0,03 mm (Fig. 14J), padrão para análise petrográfica em luz transmitida. Esta etapa requer atenção para evitar sobrepolimento, que poderia dificultar a identificação mineralógica.

Por fim, as lâminas foram limpas com solventes específicos, identificadas, catalogadas e organizadas para análise microscópica. Essa preparação permite avaliar de forma sistemática a mineralogia e a textura dos riólitos, fornecendo dados essenciais para interpretar alterações pós-magmáticas, como a devitrificação e a sericitização.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

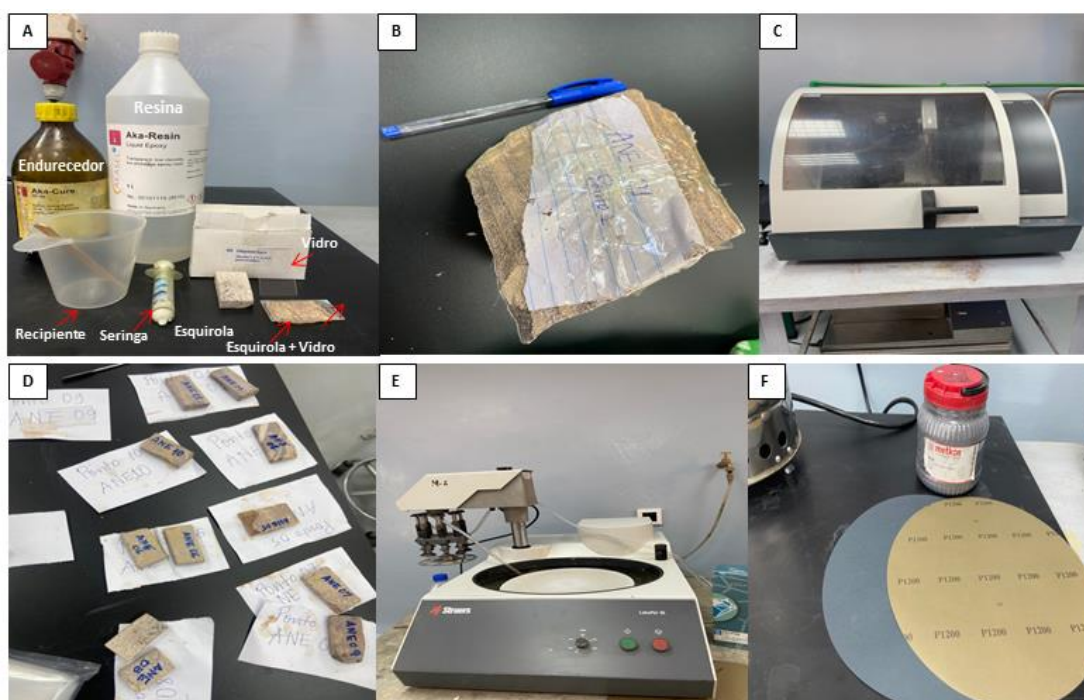


Figura 13: Materias usados na preparação de lâminas delgadas. A) Material geral usado; B) Amostra de Riolito; C) Equipamento usado para efectuar o primeiro corte da amostra, com uma serra adiamantada; D) Esquirolas; E) Equipamento usado para efetuar o despolimento; F) Po e lixa usados no polimento.

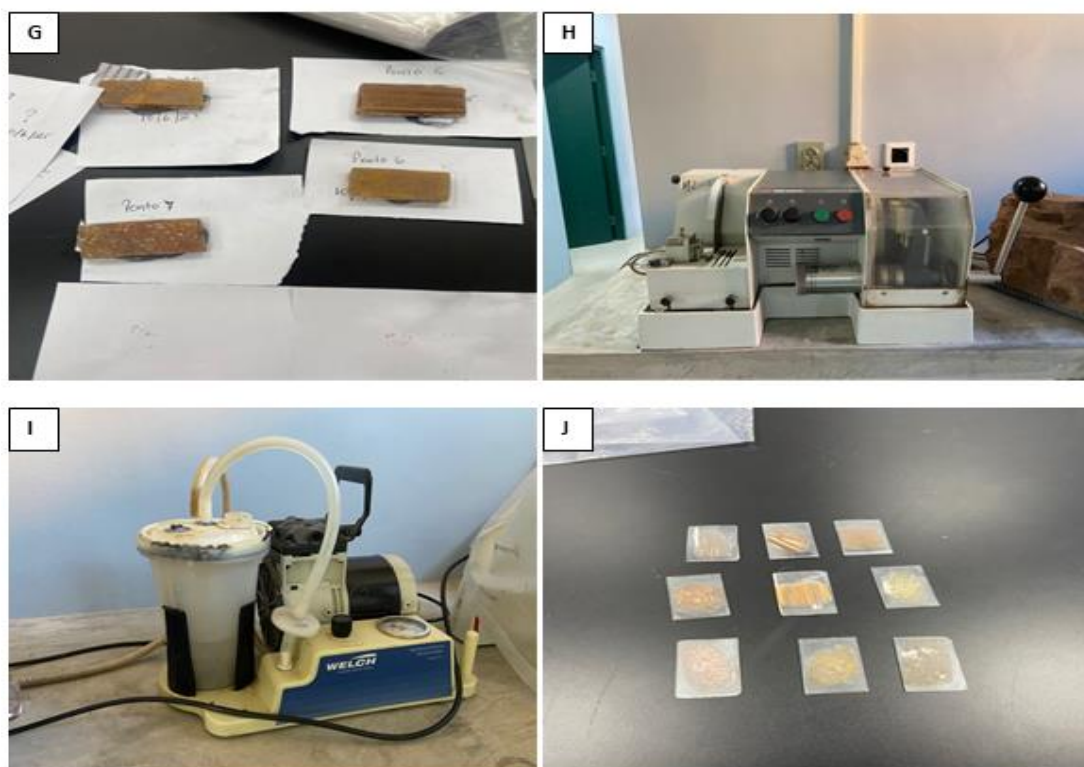


Figura 14: Materias usados na preparação de lâminas delgadas. G) Superfície despolida da Esquirola colada a superfície polida do vidro; H) Equipamento usado para redução da esquirola colada ao vidro até que esta atinja a espessura ideal de 0,063mm (máquina de segundo corte); I) Equipamento Welch(modelo 2515) acoplada à máquina do segundo corte, utilizado no desgaste controlado da lâmina delgada.

3.3. Microscopia Óptica

A análise petrográfica foi conduzida por microscopia óptica de luz polarizada, técnica essencial para identificação mineralógica e caracterização textural dos riolitos. As lâminas foram observadas sob nicóis paralelos e cruzados, considerando propriedades ópticas como cor, relevo, pleocroísmo, birrefringência, extinção, interferência, clivagem e hábito cristalino.

A análise textural considerou o tamanho, a forma e a disposição relativa dos minerais na rocha, bem como feições resultantes de processos vulcânicos e alterações pós-magmáticas, como devitrificação e sericitização.

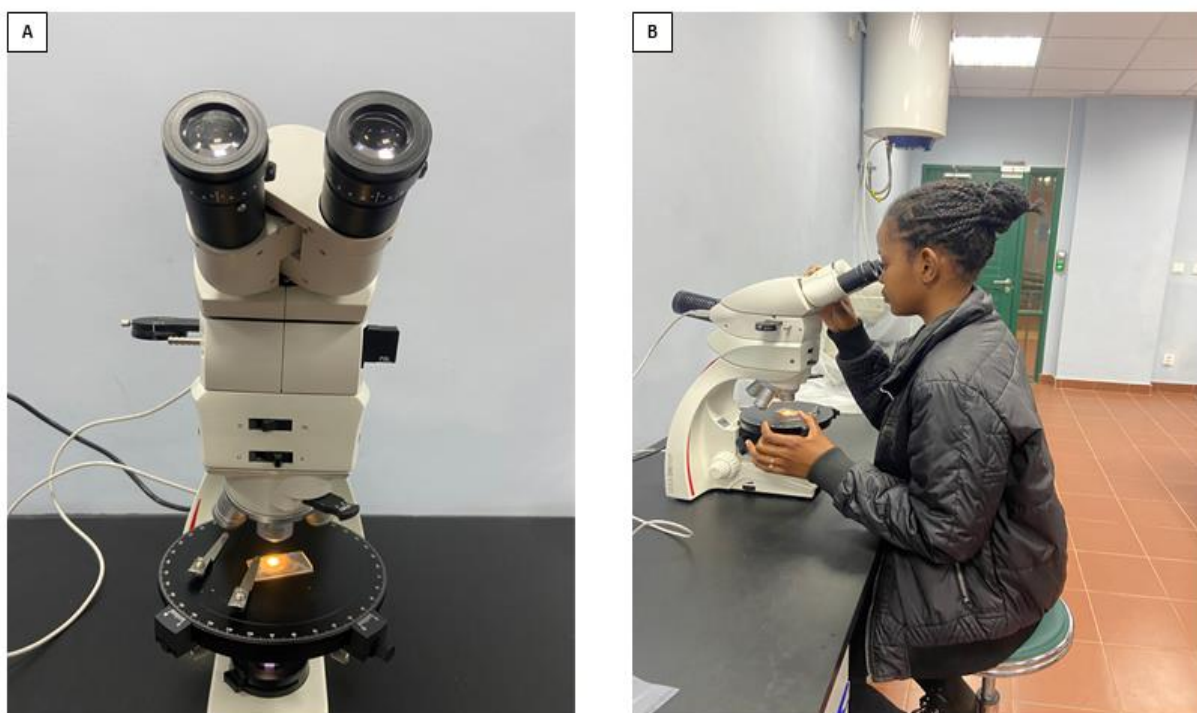


Figura 15: Microscopia óptica. A) Microscópio óptico; B) Descrição microscópica.

3.4. Análise Mineralógica por XRD

A identificação mineralógica das amostras de riolito foi realizada por difracção de raios X (XRD) no Laboratório de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane. O equipamento utilizado foi o difratómetro Rigaku MiniFlex 300/600, operando com radiação Cu K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$), gerada por tubo de raios X com tensão de 40 kV e corrente de 15 mA. A aquisição e o processamento dos

difractogramas foram realizados com o software SmartLab II, utilizando a base de dados ICDD para identificação das fases minerais presentes.

As amostras brutas (Fig.16A) foram inicialmente submetidas à trituração, com auxílio do equipamento de marca Herzog (Fig.16B), até redução a fragmentos finos (Fig.12C). Posteriormente, o material foi peneirado com peneiro de abertura 0,063 mm (Fig.16D), garantindo distribuição granulométrica homogênea e ausência de partículas maiores que pudessem interferir na orientação dos cristais durante a análise. Após a granulometria adequada (Fig.17E), o pó foi compactado no porta-amostra metálico, utilizando espátula metálica e lâmina de vidro (Fig.17F) para nivelamento da superfície, assegurando uma geometria plana e sem orientação preferencial, condição essencial para evitar intensificação artificial de picos durante a difracção.

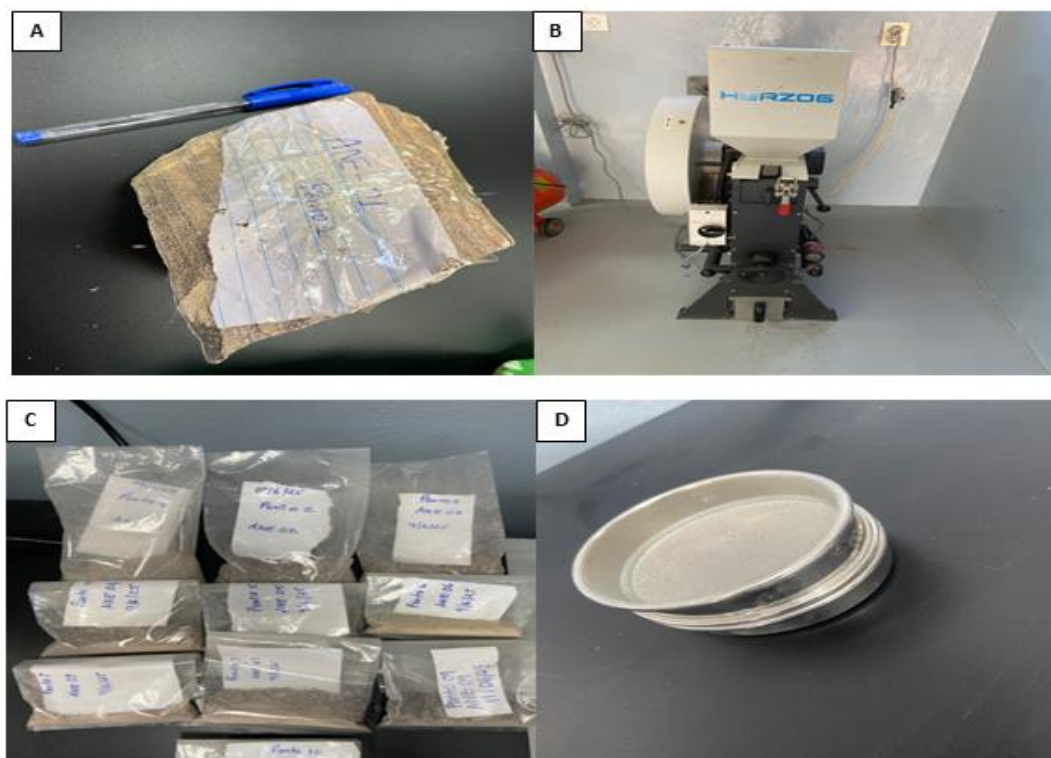


Figura 16: Etapas de preparação e análise de amostras para Difraccção de raios X (XRD). A) Amostra de Riolito; B) Equipamento utilizado para trituração de amostras brutas, reduzindo o tamanho das partículas para menos de 4 mm; C) Amostras trituradas; D) Peneirador

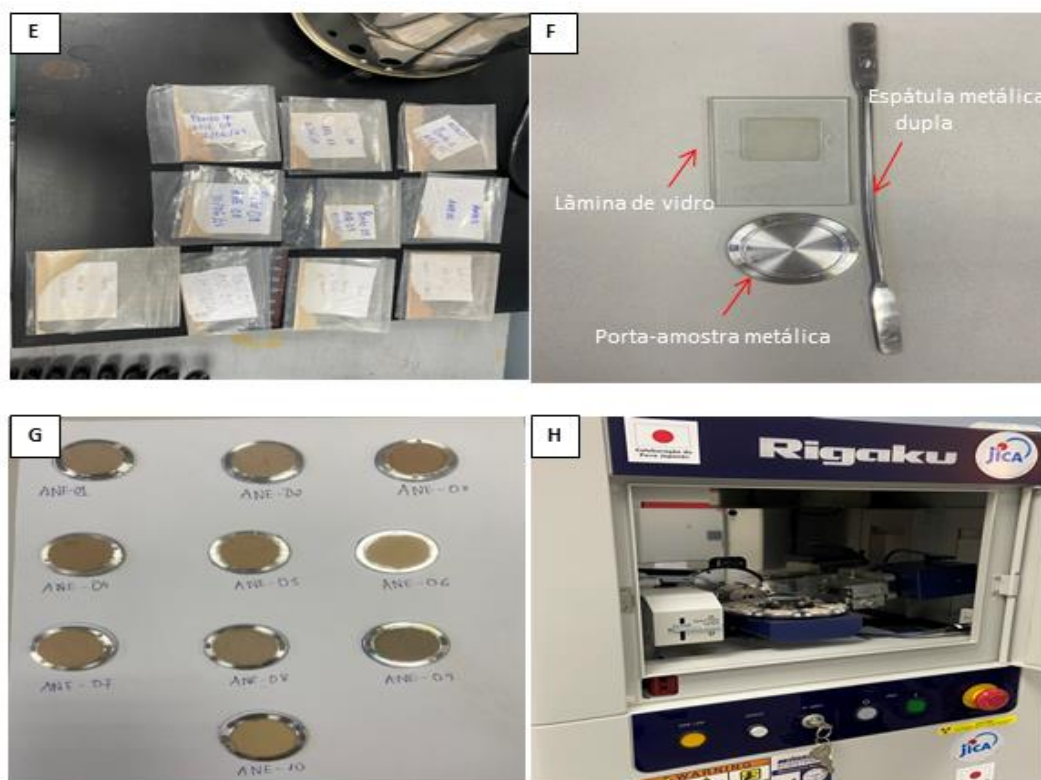


Figura 17: Etapas de preparação e análise de amostras para Difração de raios X (DRX). E) Pó peneirado; F) Material utilizado na preparação das amostras; G) Porta amostras preenchido com pó da amostra; H) Equipamento de XRD (marca Rigaku) com porta-amostras posicionadas para leitura de dados.

A análise foi realizada no modo $\theta-2\theta$, com varredura angular contínua iniciando a 2° e finalizando a 90° (2θ). O passo angular (step width) utilizado foi de $0,01^\circ$, e a velocidade de varredura foi configurada para 10° por minuto, garantindo resolução suficiente para a identificação de fases mesmo em minerais de baixa intensidade de difração. O feixe difratado foi registado por um detetor do tipo SC-70S.

Os difractogramas obtidos foram comparados com padrões cristalográficos da base ICDD, permitindo a identificação das fases cristalinas presentes nas amostras e complementando as observações petrográficas.

Com base na metodologia apresentada, o capítulo seguinte descreve e interpreta os resultados obtidos a partir das análises petrográficas e difractométricas, evidenciando as características mineralógicas, texturais e os processos de alteração que afectam os riolitos dos Pequenos Libombos.

As amostras analisadas neste estudo foram coletadas em diferentes pontos ao longo da Cadeia dos Pequenos Libombos, na região de Maputo–Boane, nas folhas 2532 e 2632. As amostras ANE 01 até ANE 06 foram coletadas na folha 2532 e as amostras ANE 07 à ANE 10, na folha 2632. A escolha dos locais visou abranger diferentes feições vulcânicas, distribuídas em cotas variadas e áreas de exposição favoráveis. O levantamento em campo foi conduzido com base em mapeamento geológico prévio, aliado à observação direta das feições macroscópicas das rochas.

As amostras apresentam, de modo geral, carácter extrusivo, evidenciando pela consolidação rápida em superfície, típica das rochas vulcânicas ácidas. A textura predominante é afanítica, sendo localmente hemicristalina, caracterizando-se pela ausência ou baixa visibilidade de cristais a vista desarmada. A estrutura das amostras é compacta, indicativa de fluxos lávicos ou domos de alta viscosidade, com pouca porosidade preservada.

Ponto 1- Amostra ANE-01 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se estruturas de fluxo de lava. Não se distinguem minerais a olho nú.

No ponto 2- Amostra ANE-02 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se estruturas de fluxo de lava. Cristais de quartzo são visíveis macroscopicamente, dispersos na matriz.

Ponto 3- Amostra ANE-03 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Apresenta elevado grau de meteorização, com desenvolvimento de material argiloso de coloração clara. Minerais ferromagnesianos ocorrem parcialmente expostos, acompanhados por intensa oxidação superficial.

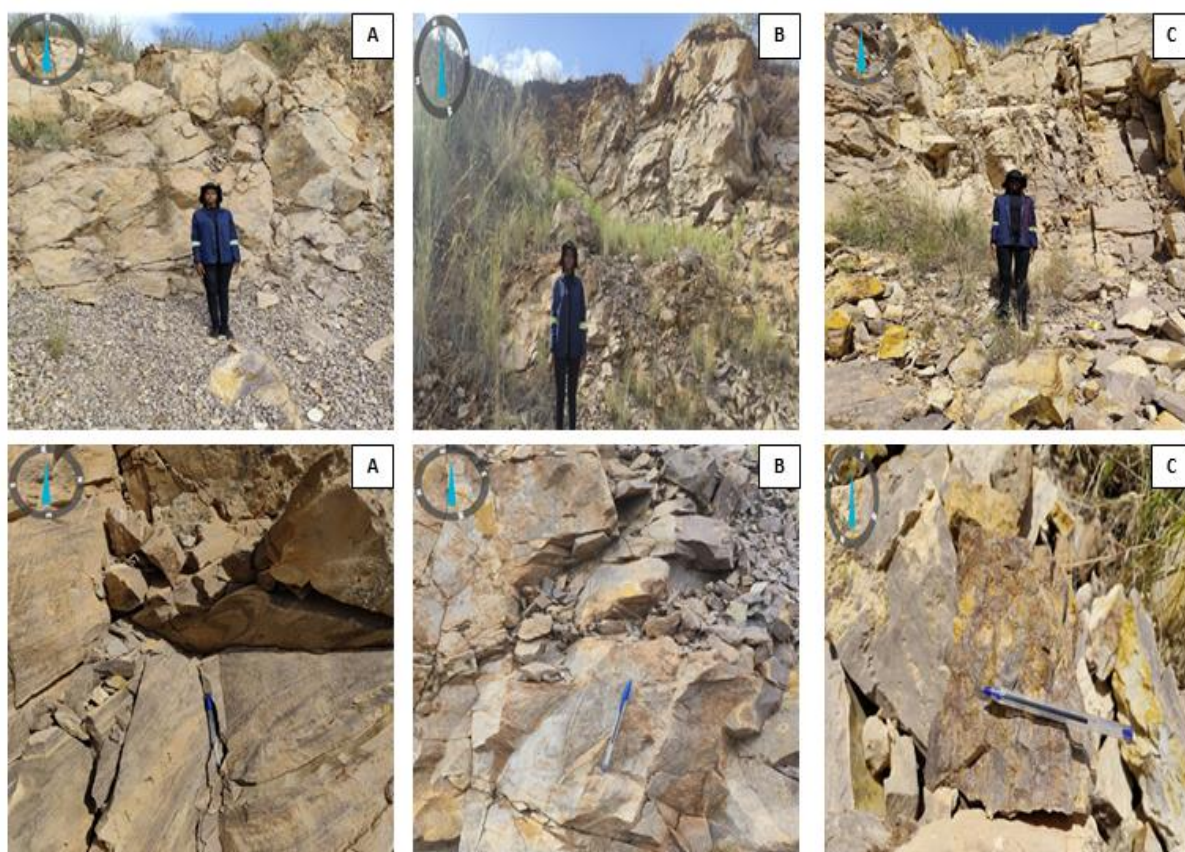


Figura 19: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. A: Afloramento ANE-01; B: Afloramento ANE-02; C: Afloramento ANE-03.

Ponto 4- Amostra ANE-04 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura piroclástica. Observa-se presença de minerais ferromagnesianos e elevado grau de meteorização.

Ponto 5- Amostra ANE-05 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se microveios de quartzo associados a diaclases.

Ponto 6- Amostra ANE-06 apresenta textura hemicristalina e estrutura compacta. Observam-se microveios de quartzo cortando a matriz.

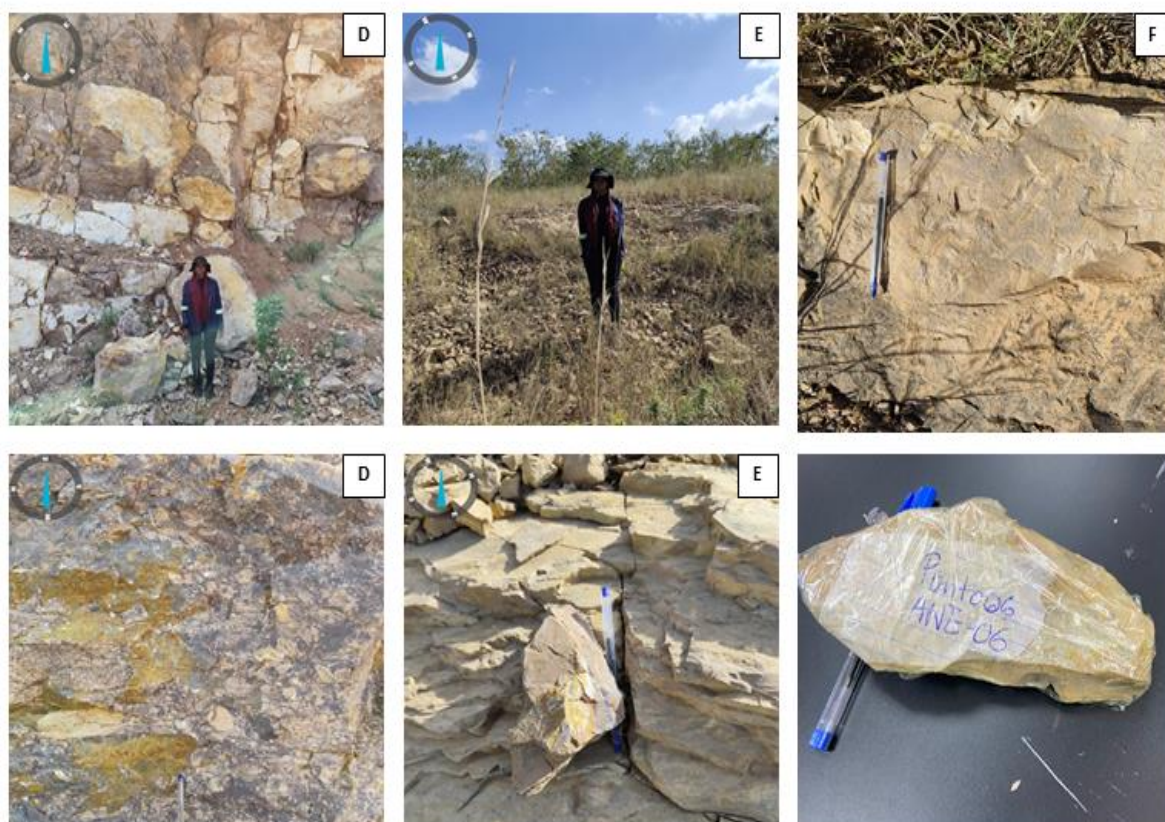


Figura 20: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. D: Afloramento ANE-04; E: Afloramento ANE-05; F: Afloramento ANE-06.

Ponto 7- Amostra ANE-07 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se vesículas parcialmente preenchidas por cinzas ou material fino. O quartzo ocorre em pequenas quantidades, de forma irregular. As superfícies exibem alteração por oxidação, com coloração amarelada a acastanhada.

Ponto 8- Amostra ANE-08 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se vesículas e microveios de quartzo atravessando a matriz. O material apresenta elevado grau de meteorização, evidenciado por coloração amarelada nas superfícies.

Ponto 9- Amostra ANE-09 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se vesículas parcialmente preenchidas e concentração de quartzo em pequenas cavidades. As superfícies apresentam coloração acastanhada associada à oxidação intensa. Microveios de quartzo cortam a matriz.

Ponto 10- Amostra ANE 10 apresenta cor leucocrata, textura afanítica e estrutura compacta. Observam-se veios de quartzo visíveis a olho nu, dispersos e irregulares, atravessando a matriz. As superfícies exibem coloração acastanhada, indicativa de meteorização.

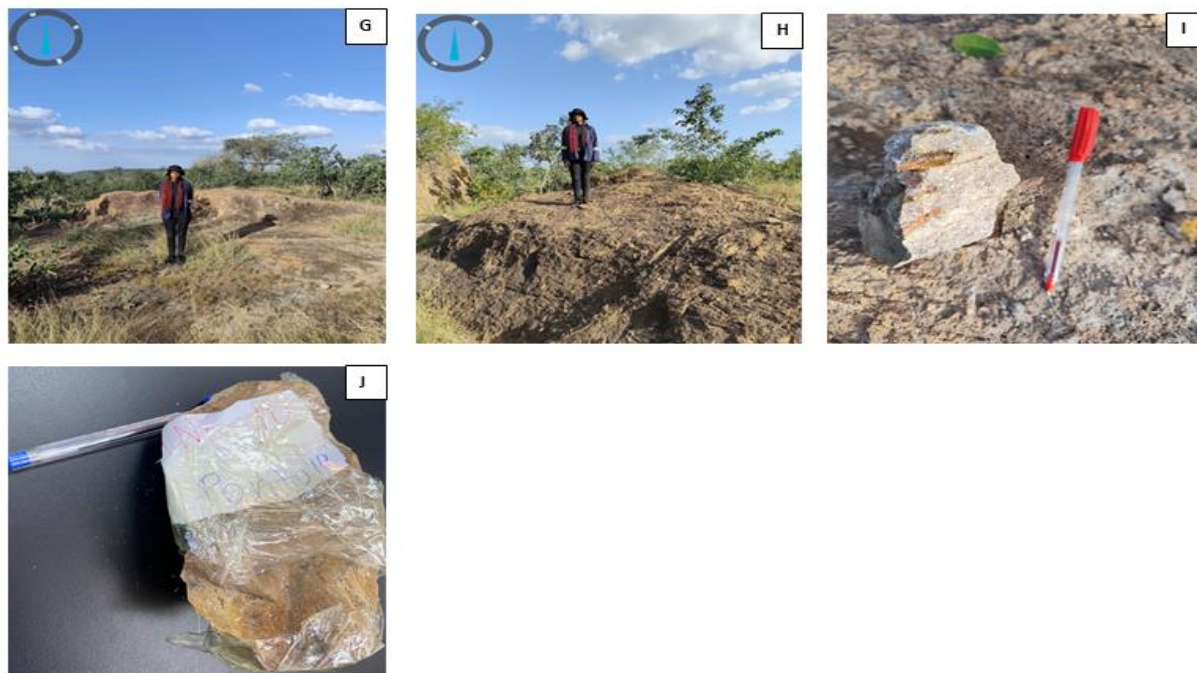


Figura 21: Afloramentos visitados ao longo da cordilheira dos Pequenos Libombos, na região de Boane. G: Afloramento ANE-07; H: Afloramento ANE-08; I: Amostra de ANE- 09; J: Amostra de ANE-10.

De maneira geral, a descrição macroscópica evidencia o caráter ácido e extrusivo das rochas, com presença de fenocristais dispersos, vesículas parcialmente preenchidas, microveios de quartzo, alterações superficiais de oxidação e meteorização das rochas.

4.1. Descrição Microscópica

4.1.1. Semelhanças petrográficas entre as amostras

As amostras analisadas correspondem a rochas vulcânicas félsicas de composição riolítica, constituídas essencialmente por quartzo, feldspatos alcalinos (sanidina e, localmente, anortoclase), plagioclase e minerais acessórios, inseridos em matrizes microcristalinas a criptocristalinas parcialmente devitrificadas. Em termos texturais, predomina a textura afanítica porfirítica.

A mineralogia principal é relativamente homogênea entre as amostras, sendo dominada por quartzo anédrico, feldspatos alcalinos e micrólitos de plagioclase. O quartzo apresenta-se geralmente incolor em nicóis descruzados, com relevo baixo, hábito predominantemente anédrico, birrefringência baixa, extinção ondulante e cores de interferência variando entre cinzento e branco em nicóis cruzados. A sanidina ocorre frequentemente em forma de cristais anédricos, incolores, de relevo muito baixo, exibindo baixa birrefringência, cores de interferência de primeira ordem e maclas simples de Carlsbad. A plagioclase ocorre, sobretudo sob a forma de micrólitos aciculares ou cristais subédricos, apresentando relevo muito baixo, cores de interferência entre cinzento e branco, além das maclas polissintéticas e extinção oblíqua (Figura 22A–B).

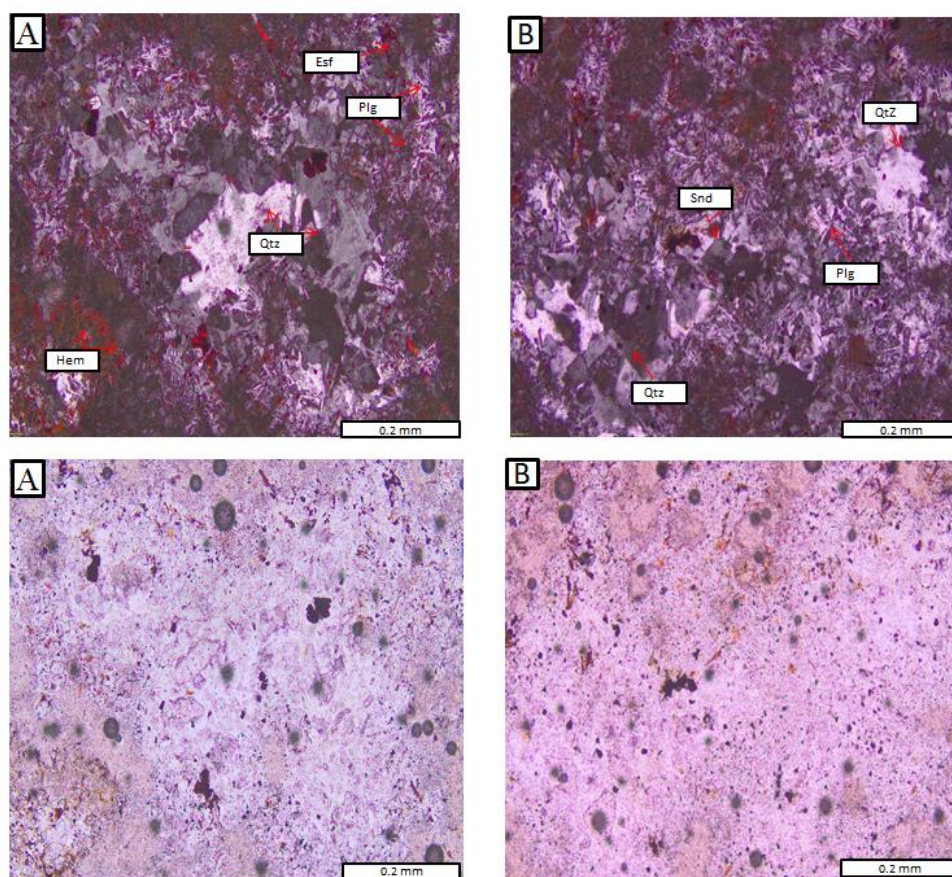


Figura 22: Fotomicrografias ilustrando as características petrográficas comuns observadas nos riolitos analisados. Fenocristais de quartzo e sanidina imersos em matriz microlítica parcialmente devitrificada e micrólitos de plagioclase. Qtz: quartzo; Snd: sanidina; Plg: plagioclase; Opc: minerais opacos.

Entre os minerais acessórios mais frequentes destacam-se a biotite, muscovite e os minerais opacos, sendo frequente a presença de óxidos de ferro, sobretudo hematite. A biotite apresenta pleocroísmo em tons castanhos a marrons, relevo médio a alto, hábito geralmente subédrico e cores de interferência fortes, com extinção paralela a mosqueada. A muscovite ocorre em pequenas proporções, sendo incolor em nicóis descruzados, de relevo baixo a médio, exibindo cores de interferência intensas em nicóis cruzados.

As matrizes apresentam-se predominantemente microlíticas, microcristalinas ou criptocristalinas, frequentemente com evidências de devitrificação. Em várias amostras observam-se esferulitos esféricos e feições esferulíticas associadas à devitrificação vulcânica (Figura 23C–D). Os esferulitos correspondem a estruturas formadas por crescimento radial de minerais fibrosos, frequentemente associados à cristalização em condições de não equilíbrio em vidros vulcânicos. Segundo Winter (2010), os esferulitos axiolíticos representam um tipo particular de textura esferulítica em que fibras minerais crescem perpendicularmente às superfícies de nucleação. De

acordo com Lofgren (1979), estas estruturas estão associadas a condições de cristalização rápida e elevada razão área/volume, sendo frequentemente relacionadas a processos de devitrificação em altas temperaturas, conforme discutido também por McPhie (1993).

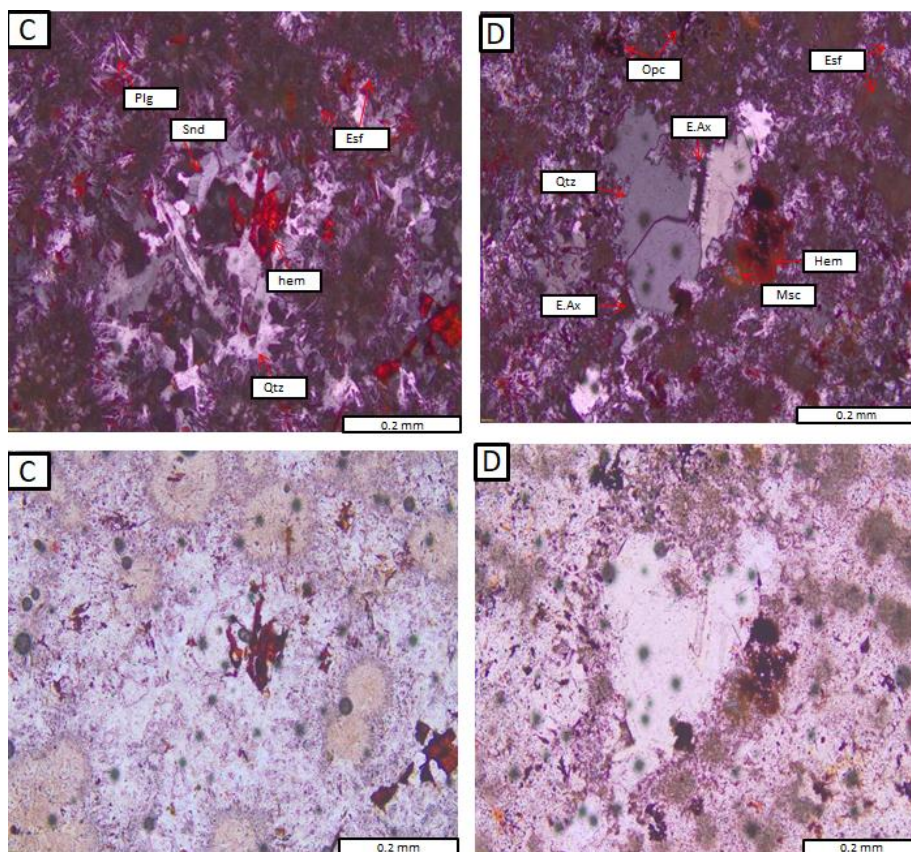


Figura 23: Fotomicrografias evidenciando feições de devitrificação e texturas esferulíticas nos riolitos estudados. (C) Esferulitos esféricos e matriz microlítica devitrificada na amostra ANE 01; (D) esferulitos axiolíticos em quartzo e feições de crescimento radial na amostra ANE 02. Esf: esferulitos; E.Ax: esferulitos axiolíticos; Qtz: quartzo.

As alterações secundárias identificadas nas lâminas incluem principalmente sericitização, oxidação, opacitização e, localmente, caulinitização. Os minerais opacos e óxidos de ferro, sobretudo hematite, ocorrem dispersos em diferentes pontos das lâminas, sendo frequente a oxidação de minerais máficos, especialmente a biotite (Figura 24E-F).

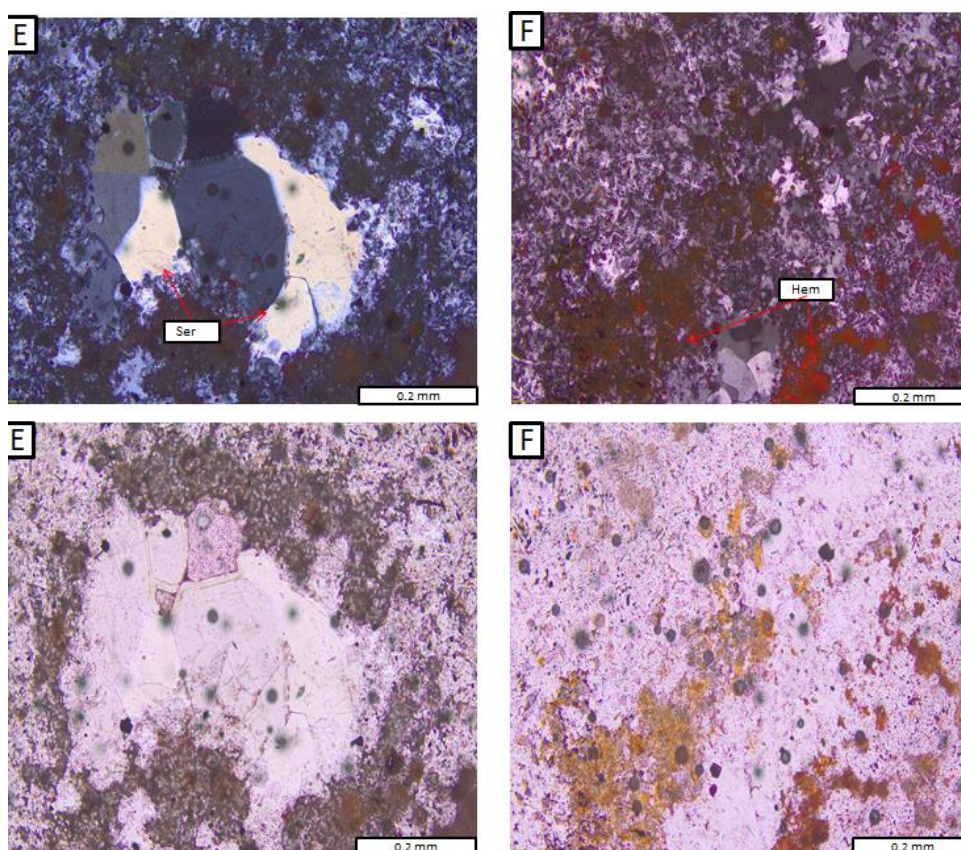


Figura 24: Fotomicrografias ilustrando alterações secundárias nos riolitos analisados. (E-F) Sericitização e oxidação associadas a minerais opacos na amostra ANE 02. Ser: sericite; Hem: hematite.

4.1.2. Principais diferenças texturais e mineralógicas entre as amostras

Apesar das semelhanças mineralógicas gerais, as amostras apresentam diferenças texturais, mineralógicas e de alteração secundária que permitem distingui-las petrográfica e geneticamente. As amostras ANE 01 e ANE 02 destacam-se pela presença de esferulitos axiolíticos associados à devitrificação da matriz. Na amostra ANE 01 observam-se esferulitos de crescimento radial e esferulitos axiolíticos em quartzo, associados a matriz microlítica devitrificada composta por quartzo microcristalino e micrólitos de plagioclase. Já a amostra ANE 02 apresenta, além de esferulitos axiolíticos, ocorrência de microveios de quartzo constituídos por cristais subédricos e intercrescimento granofírico entre quartzo e feldspato, conforme a definição de Barker (1970) (Figura 25A–B). Esta amostra também apresenta o maior grau de meteorização entre as lâminas analisadas, acompanhado por sericitização e intensa oxidação evidenciada por minerais opacos com bordas avermelhadas.

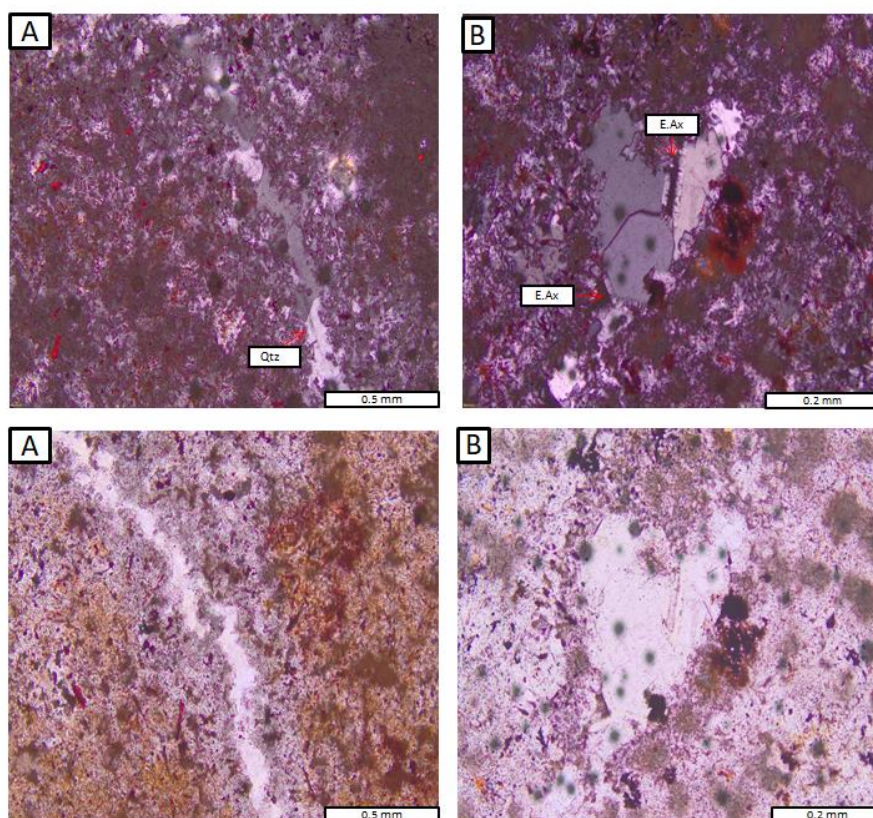


Figura 25: Fotomicrografias mostrando feições texturais distintas nas amostras ANE 01 e ANE 02. (A) microveio de quartzo na amostra ANE 02. (B) Esferulitos axiolíticos e matriz devitrificada na amostra ANE 01; Qtz: quartzo; E.Ax: esferulitos axiolíticos.

As amostras ANE 03 e ANE 04 distinguem-se pela presença mais evidente de texturas criptocristalinas. A amostra ANE 03 apresenta textura microlítica a criptocristalina, matriz fortemente devitrificada e maior proporção de quartzo relativamente à sanidina. Além disso, exibe minerais secundários compostos por óxidos de ferro, opacos e sericite, associados a processos de oxidação e sericitização. A amostra ANE 04 apresenta textura porfírica a criptocristalina e destaca-se pela ocorrência de microveios de quartzo (Figura 26C-D). Nesta amostra também são observadas alterações secundárias mais diversificadas, incluindo oxidação, sericitização e caulinitização, além da presença de hematite e/ou goethita.

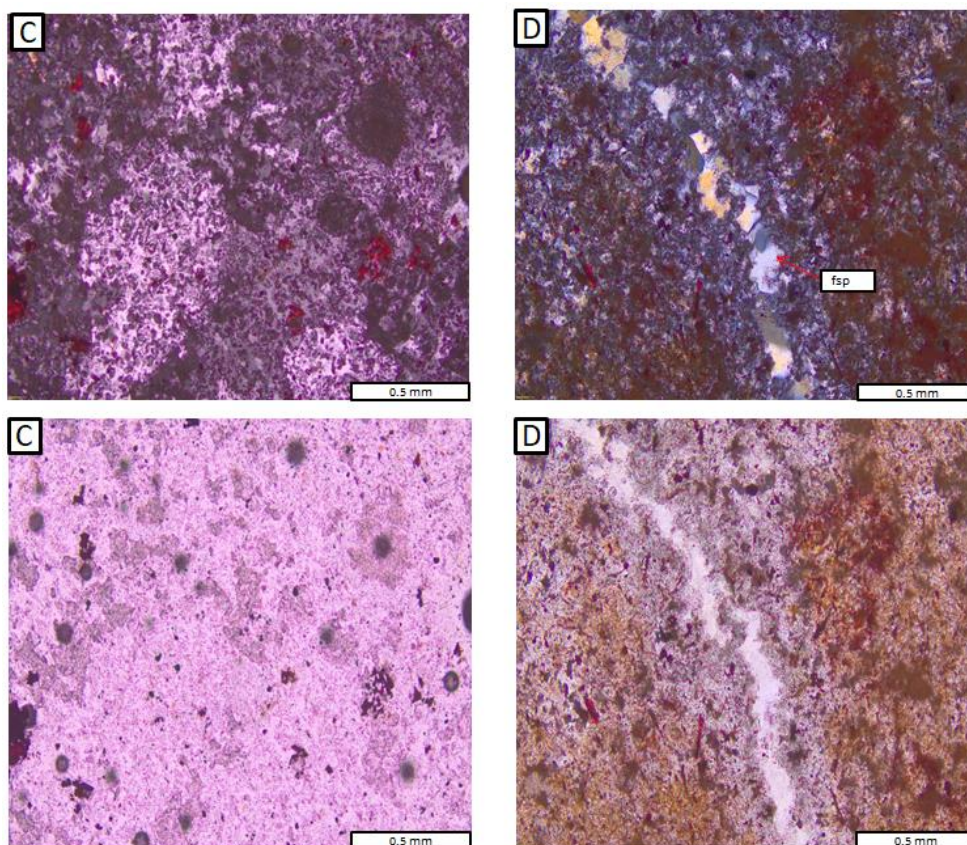


Figura 26: Fotomicrografias ilustrando texturas criptocristalinas e feições de alteração nas amostras ANE 03 e ANE 04. (C) Matriz criptocristalina parcialmente devitrificada na amostra ANE 03; (D) microveio de feldspato com minerais alterados e oxidação na amostra ANE 04. Fdp: feldspato.

As amostras ANE 05 e ANE 06 diferenciam-se pela presença de anortoclase entre os feldspatos alcalinos. A amostra ANE 05 apresenta maior proporção modal de feldspatos relativamente às demais amostras, além de textura afanítica porfírica e feições de esferulitos de devitrificação em matriz criptocristalina. A amostra ANE 06 apresenta maior abundância de minerais secundários entre as amostras analisadas, alcançando cerca de 15%, representados principalmente por sericite e minerais opacos. Nesta amostra observa-se ainda matriz microlítica devitrificada com presença de esferulitos, anortoclase e plagioclase em menores proporções (Figura 27E-F).

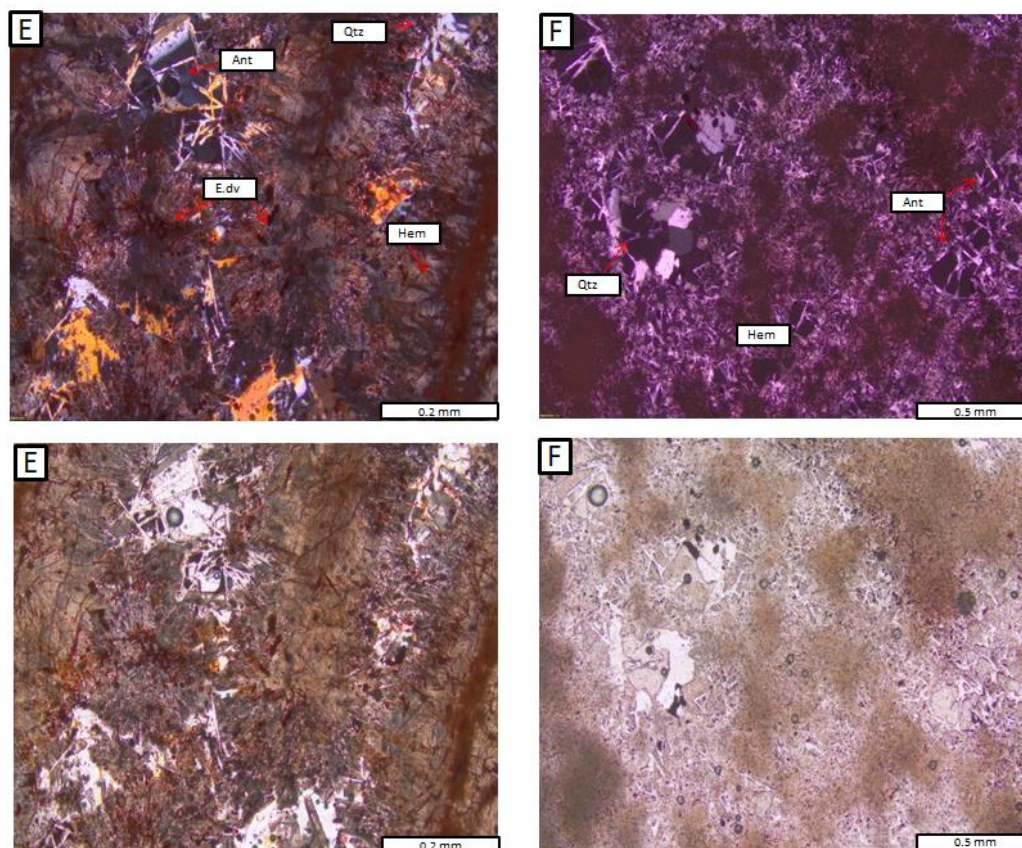


Figura 27: Fotomicrografias evidenciando feldspatos alcalinos e alterações secundárias nas amostras ANE 05 e ANE 06. (E) Esferulitos de devitrificação na amostra ANE 05; (F) matriz microlítica devitrificada e presença de cristais de anortoclase na amostra ANE 06. Ano: anortoclase; E.dv: esferulito de devitrificação; Hem: hematite; Qtz:: Quartzo.

A amostra ANE 07 distingue-se pela ocorrência de fenocristais euédricos a subédricos de Sanidina distribuída ao longo de uma matriz dominada por micrólitos de plagioclase (Figura 28G). Distingui-se também pelo facto de apresentar evidências do processo de devitrificação bem como pela ocorrência de processos de alterações como a caulinitização associada à sericitização e oxidação. A amostra ANE 08 apresenta elevado grau de alteração, marcada pelo processo de sericitização dos feldspatos. Sendo também marcada pela ocorrência de fenocristais de Sanidina de hábito subédrico e pelas evidências do processo de devitrificação do vidro vulcânico (Fig28H).

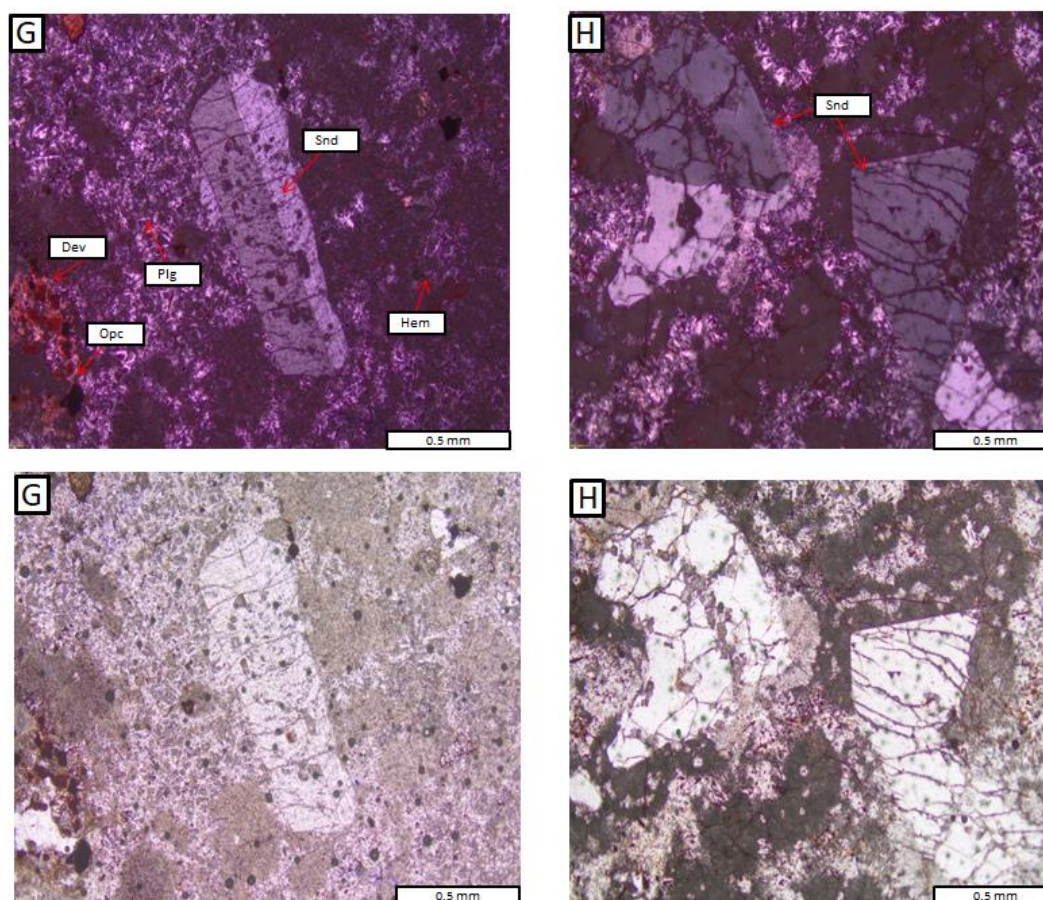


Figura 28: Fotomicrografias mostrando características petrográficas das amostras ANE 07 e ANE 8. (G) Fenocristais de Sanidina euédricos distribuídos ao longo de uma matriz microlítica de plagioclase na amostra ANE 07; (H) Fenocristais de Sanidina subédricos distribuídos ao longo de uma matriz microlítica de plagioclase na amostra ANE 08; Plg: plagioclase; Opc: opacos; Dev: devitrificação; Hem: hematite; Snd: sanidina.

A amostra ANE 09 apresenta maior abundância relativa de plagioclase em forma de fenocristais, contendo agregados de plagioclase com extinção concêntrica, enquanto a ANE 10 apresenta textura porfirítica em uma matriz microcristalina e maior proporção de plagioclase relativamente ao feldspato potássico, apresentando ao longo da matriz a presença de esferulitos esféricos. (Figura 29 I-J).

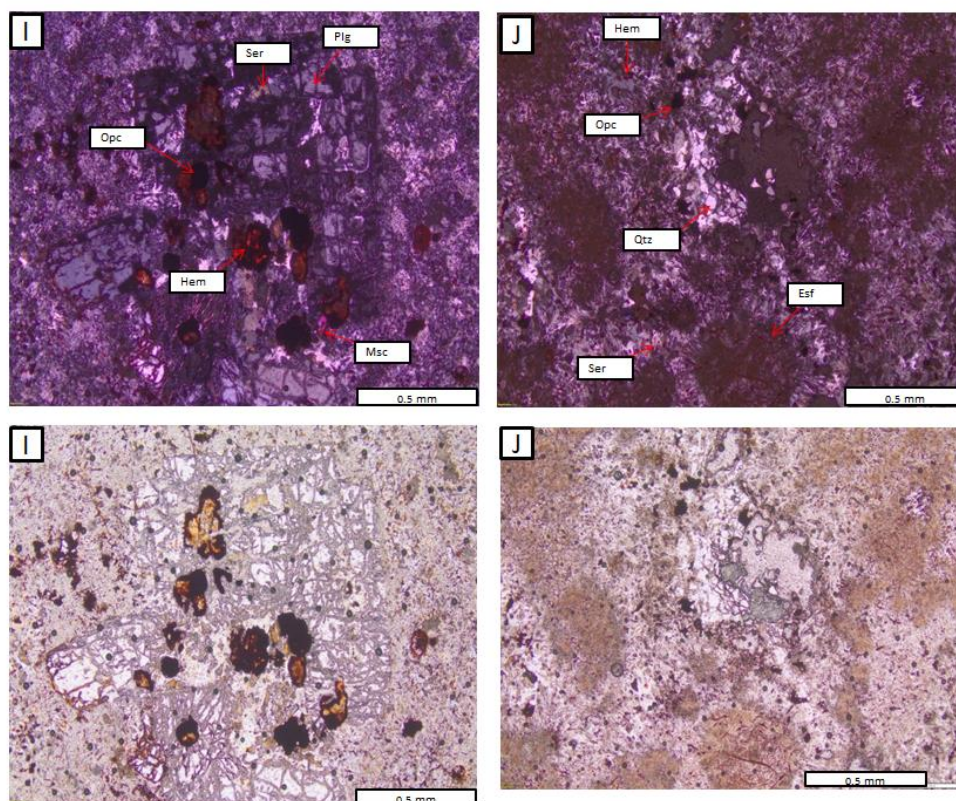


Figura 29: Fotomicrografias mostrando características petrográficas das amostras ANE 9 e ANE 10. (I) Agregado de plagioclase com extinção concêntrica na amostra ANE 09; (J) Esferulitos esféricos na amostra ANE 10. Plg: plagioclase; Ser: sericite; Esf: esferulito; Opc: opacos; Hem: hematite; Qtz: quartzo.

De modo geral, as variações observadas entre as amostras refletem diferenças no grau de devitrificação, intensidade das alterações, abundância relativa dos feldspatos e desenvolvimento de feições texturais secundárias, como esferulitos, intercrescimentos granofíricos e microveios de quartzo.

As amostras analisadas apresentam diferentes tipos de alteração secundária, incluindo sericitização, oxidação, opacitização e, localmente, caulinitização. Estas alterações afectam, sobretudo feldspatos e minerais ferromagnesianos.

A sericitização ocorre principalmente associada a feldspatos, reflectindo a sua instabilidade em condições de alteração pós-formação. A oxidação, evidenciada pela presença de minerais opacos e tons avermelhados associados a fases ferromagnesianas, é frequente em várias amostras. A caulinitização ocorre de forma mais localizada, afectando principalmente os feldspatos, sugerindo condições de alteração mais intensa em zonas específicas.

4.3. Difracção de Raio-X

A análise por difracção de raios X (XRD) permitiu identificar as fases cristalinas presentes nos riolitos dos Pequenos Libombos. Foram analisadas dez amostras (ANE01–ANE10). Os difractogramas foram processados no software SmartLab II, utilizando a base de dados ICDD para identificação mineralógica.

Em todas as amostras, foram identificados picos de quartzo como fase dominante, acompanhados por feldspatos alcalinos (albite, sanidina e, pontualmente, anortoclase). Minerais secundários, como muscovite/sericite, biotite, hematite e zircão, ocorrem em baixa intensidade.

A seguir apresenta-se cada difractograma individual com a descrição objectiva dos picos identificados.

ANE 01

O difractograma da amostra ANE01 (anexo 3) apresenta como fase dominante o quartzo, cujo pico principal aparece na região típica de $\sim 26,6^\circ$ 2θ (Cu $K\alpha$). Feldspatos alcalinos (sanidina/albite) foram identificados por picos adjacentes na faixa $\sim 27\text{--}29^\circ$ 2θ , sendo provável que parte da intensidade nesta região seja devida à sobreposição entre quartzo e feldspatos. Foram ainda detectadas micas (muscovite/sericite e biotite) em intensidades moderadas, evidenciando processos de alteração, especialmente a sericitização de feldspatos. Traços de hematite e minerais acessórios (zircão/apatite) aparecem como picos de baixa intensidade. Em conjunto com as observações petrográficas, matriz microlítica a devitrificada e fenocristais de quartzo e feldspatos, os resultados XRD confirmam a natureza riolítica e a ocorrência de processos de devitrificação e alteração na amostra ANE01.

ANE 02

O difractograma da amostra ANE 02 (Aanexo 4) apresenta um pico principal intenso na faixa de $\sim 26,6^\circ$ (2θ), característico do quartzo e indicativo de elevada concentração de sílica na amostra. Feldspatos alcalinos foram identificados, especificamente albite e sanidina, evidenciados por picos localizados entre 27° e 29° (2θ). Nesta região, observa-se sobreposição entre os picos de quartzo e os feldspatos, comportamento típico de rochas vulcânicas félsicas. Minerais micáceos,

como muscovite/sericite e biotite, aparecem representados por picos menores, reflectindo possivelmente processos de alteração hidrotermal associados à sericitização de feldspatos.

Também foram identificadas fases acessórias, como zircão e hematite. O zircão está associado à cristalização tardia de magmas ácidos e ocorre como mineral traço. A hematite indica eventuais processos de oxidação pós-magmática. A combinação mineralógica confirmada pelo XRD comprova que ANE02 corresponde a um riolito félsico, com elevada proporção de quartzo e feldspatos, acompanhado por fases micáceas e minerais acessórios típicos de sistemas magmáticos ácidos submetidos possivelmente à alteração hidrotermal.

ANE 03

O difractograma da amostra ANE 03 (Anexo 5) apresenta um pico muito intenso na posição de $\sim 26,6^\circ$ (2θ), confirmando quartzo como a fase cristalina dominante. A presença de albite e sanidina é identificada por picos marcados na região de 27° a 29° (2θ), parcialmente sobrepostos ao pico principal do quartzo. Esta sobreposição é típica de feldspatos alcalinos e plagioclásios sódicos em rochas vulcânicas ácidas, reforçando a natureza riolítica da amostra. Picos adicionais de menor intensidade revelam muscovite/sericite e biotite, podendo identificar alteração hidrotermal e sericitização de feldspatos durante processos pós-magmáticos.

Hematite ocorre em intensidade reduzida, evidenciando oxidação superficial ou alterações tardias. Foram também identificados picos finos atribuídos ao zircão, mineral acessório associado ao carácter evoluído de magmas ácidos. Os resultados obtidos por XRD, associados à observação petrográfica, confirmam que ANE 03 corresponde a um riolito de alto teor em sílica, com matriz parcialmente devitrificada e presença de minerais acessórios formados durante ou após a evolução magmática.

ANE 04

O difractograma da amostra ANE 04 (Anexo 6) apresenta um pico principal intenso relacionado ao quartzo ($\sim 26,6^\circ$ 2θ), confirmando elevada concentração de sílica na amostra. Feldspatos alcalinos, identificados como albite e sanidina, aparecem na região de $27-29^\circ$ 2θ , com picos parcialmente sobrepostos ao pico principal do quartzo. A distribuição e a intensidade desses picos confirmam a presença simultânea de plagioclases ricas em sódio e feldspatos alcalinos, minerais comuns em riolitos de afinidade félsica. As fases micáceas muscovite/sericite e biotite

estão presentes em picos menores, indicando processos de alteração com destaque para a sericitização actuando sobre os feldspatos.

ANE 05

O difractograma da amostra ANE 05 (Anexo 7) apresenta um pico dominante em $\sim 26,6^\circ$ (2θ), característico de quartzo, confirmando elevada concentração de sílica. Feldspatos alcalinos estão bem representados, incluindo albite, sanidina e anortoclase (identificado como “Ant” pelo software). Esses minerais aparecem em picos adjacentes na região de 27° a 29° (2θ), parcialmente sobrepostos ao pico principal do quartzo, comportamento típico de rochas vulcânicas ácidas com feldspatos alcalinos. Muscovite/sericite e biotite formam picos menores, evidenciando processos de alteração hidrotermal e sericitização dos feldspatos. Hematite e zircão ocorrem como fases acessórias. A mineralogia obtida por XRD demonstra que ANE05 corresponde a um riolito sílico com forte presença de feldspatos alcalinos e fases micáceas de alteração pós-magmática.

ANE 06

O difractograma da amostra ANE 06 (Anexo 8) exibe um pico principal intenso na posição de $\sim 26,6^\circ$ (2θ), confirmando quartzo como fase dominante e indicando alto teor de sílica na amostra. Feldspatos alcalinos, incluindo albite, sanidina e anortoclase, foram identificados na faixa de 27° a 29° (2θ), onde ocorre a sobreposição natural entre quartzo e feldspatos em rochas vulcânicas ácidas. A presença simultânea de diferentes feldspatos alcalinos evidencia diversidade na cristalização magmática e processos de resfriamento em condições variáveis.

Muscovite/sericite e biotite foram identificadas por picos de menor intensidade, indicando alteração hidrotermal e transformação de feldspatos em minerais micáceos (sericitização). Hematite ocorre como óxido de ferro associado a processos de oxidação, enquanto zircão aparece como mineral acessório, típico de magmas evoluídos ricos em sílica. A associação mineralógica registrada por XRD confirma que ANE 06 corresponde a um riolito félsico com matriz parcialmente devitrificada e afectado por processos de alteração.

ANE 07

O difractograma da amostra ANE 03 (Anexo 9) apresenta um pico principal claramente associado ao quartzo ($\sim 26,6^\circ$ 2θ), confirmando a predominância de sílica na amostra. Feldspatos

alcalinos, identificados como albite e sanidina, surgem em picos na faixa de $27\text{--}29^\circ 2\theta$, com sobreposição parcial na região do pico principal do quartzo, padrão compatível com riolitos félsicos. As fases micáceas muscovite/sericite e biotite aparecem em intensidades secundárias, indicando sericitização e alteração hidrotermal local. Hematite é observada em traços, sinalizando oxidação ou alteração supergénica. Zircão é identificado como fase acessória, coerente com cristais resistentes remanescentes do processo magmático. Em conjunto, os dados XRD confirmam que ANE07 é um riolito sílico com predominância de quartzo e feldspatos alcalinos, acompanhado por sinais de alteração hidrotermal e minerais acessórios.

ANE 08

O difractograma da amostra ANE 08 (Anexo 10) exibe um pico intenso de $\sim 26,6^\circ (2\theta)$, confirmando quartzo como a fase cristalina dominante. Na faixa entre 27° e $29^\circ (2\theta)$, são observados picos atribuídos a feldspatos alcalinos, especificamente albite e sanidina. Nesta região ocorre sobreposição com o pico principal do quartzo, comportamento típico de riolitos de alto teor em sílica. A identificação de muscovite/sericite e biotite, representadas por picos de menor intensidade, indica provavelmente, alteração hidrotermal dos feldspatos e processos de sericitização. Hematite ocorre como óxido de ferro associado à oxidação superficial da amostra, enquanto zircão aparece como fase acessória, característica de magmas ácidos evoluídos. A mineralogia determinada por XRD confirma claramente que ANE 08 corresponde a um riolito félsico, com elevado teor de sílica e evidências de alteração pós-eruptiva.

ANE 09

O difractograma da amostra ANE 09 (Anexo 11) apresenta um pico intenso de $\sim 26,6^\circ (2\theta)$, característico do quartzo, confirmando enriquecimento em sílica na amostra. Os feldspatos alcalinos, representados por albite e sanidina, aparecem na faixa entre 27° e $29^\circ (2\theta)$, parcialmente sobrepostos ao pico do quartzo, comportamento típico de rochas vulcânicas félsicas. Minerais micáceos, incluindo muscovite/sericite e biotite, surgem em picos menores, reflectindo alteração hidrotermal e processos de sericitização de feldspatos durante eventos pós-magmáticos. Hematite ocorre em traços e está associada à oxidação do material. O zircão aparece como mineral acessório e indica cristalização de magmas silicáticos evoluídos. A assembléia mineral obtida por XRD confirma que ANE09 corresponde a um riolito félsico parcialmente devitrificado, com quartzo e feldspatos como fases principais e micas e óxidos como fases de alteração.

ANE 10

O difractograma da amostra ANE 10 (Anexo 12) apresenta um pico principal intenso em $\sim 26,6^\circ$ (2θ), confirmando quartzo como fase dominante e caracterizando a amostra como rica em sílica. Feldspatos alcalinos, incluindo albite e sanidina, são identificados na região de 27° a 29° (2θ), onde ocorre sobreposição com o pico principal do quartzo, padrão típico de riolitos félsicos. Picos discretos de muscovite/sericite e biotite indicam a presença de micas formadas por processos de alteração após a cristalização do magma. Hematite aparece em baixa intensidade, associada a oxidação pós-magmática, enquanto zircão ocorre como fase acessória, indicadora de cristalização tardia de magmas ácidos. A composição mineralógica obtida por XRD confirma que ANE 10 corresponde a um riolito félsico e devitrificado, com predominância de quartzo e feldspatos, acompanhada por micas e minerais acessórios de evolução magmática e alteração posterior.

4.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A integração dos dados petrográficos e mineralógicos obtidos por microscopia ótica e difração de raios X permitiu caracterizar os riolitos dos Pequenos Libombos como rochas vulcânicas félsicas dominadas por quartzo, feldspatos alcalinos e plagioclase, inseridos em matriz microlítica a criptocristalina parcialmente devitrificada. Esta associação mineralógica é compatível com magmas evoluídos ricos em sílica, típicos de sistemas riolíticos de elevada viscosidade (Winter, 2010; Philpotts & Ague, 2009).

As texturas observadas nas lâminas delgadas, incluindo matriz microlítica, presença de fenocristais dispersos e desenvolvimento de esferulitos esféricos e axiolíticos, sugerem cristalização rápida seguida por reorganização mineralógica pós-eruptiva. Segundo McPhie, Doyle e Allen (1993), estruturas esferulíticas são frequentemente associadas à devitrificação de vidro vulcânico em rochas félsicas, formando-se durante processos de recristalização em condições de desequilíbrio térmico. A presença recorrente destas feições nas amostras analisadas sugere que parte da matriz originalmente vítrea sofreu recristalização posterior à consolidação inicial da rocha.

A identificação de cristobalite nos difratogramas reforça esta interpretação. A cristobalite constitui um polimorfo da sílica frequentemente associado à recristalização de materiais vulcânicos ricos em vidro, sendo comum em sistemas vulcânicos ácidos submetidos a processos de devitrificação (Deer, Howie & Zussman, 1992). Dessa forma, a associação entre cristobalite, quartzo microcristalino e texturas esferulíticas observadas petrograficamente é compatível com reorganização mineralógica tardia da matriz vulcânica.

As amostras provenientes das folhas 2532 e 2632 apresentam diferenças texturais e mineralógicas que sugerem variações na intensidade dos processos pós-magmáticos. As amostras da Folha 2532 mostram maior heterogeneidade petrográfica, caracterizada pela ocorrência de microveios de quartzo, intercrescimentos granofíricos e alterações mais intensas dos feldspatos. Em contraste, as amostras da Folha 2632 apresentam maior homogeneidade textural, predominando matriz microlítica parcialmente devitrificada e desenvolvimento relativamente uniforme de esferulitos.

Os intercrescimentos granofíricos identificados em algumas amostras podem estar relacionados à cristalização tardia de líquidos residuais ricos em sílica. Segundo Barker (1970), texturas granofíricas resultam do crescimento simultâneo de quartzo e feldspato em sistemas

magmáticos evoluídos, normalmente associados aos estágios finais de cristalização de magmas félsicos. No entanto, considerando os dados disponíveis, estas feições devem ser interpretadas cautelosamente, sendo mais seguro considerá-las compactíveis com processos tardio-magmáticos de recristalização em ambientes ricos em sílica.

Os microveios de quartzo observados em determinadas amostras sugerem circulação tardia de fluidos ricos em sílica ao longo de microfraturas desenvolvidas após a consolidação da rocha. Estas estruturas podem estar relacionadas a fraturamento pós-eruptivo, reajustes tectónicos tardios ou processos de contração térmica associados ao arrefecimento das unidades vulcânicas. A precipitação de quartzo nestas microestruturas é compatível com episódios localizados de interação fluido-rocha, embora os dados disponíveis não permitam afirmar inequivocamente a natureza hidrotermal destes fluidos.

A presença de mordenite identificada nos difratogramas possui relevância genética importante. A mordenite é um mineral do grupo das zeólitas frequentemente associado à alteração de materiais vulcânicos em condições de baixa temperatura, particularmente em sistemas ricos em vidro vulcânico (Hay & Sheppard, 2001). A sua ocorrência nas amostras analisadas pode indicar interação tardia entre fluidos e matriz vulcânica, favorecendo processos de zeolitização associados à alteração pós-magmática. Entretanto, considerando a ausência de dados geoquímicos e termométricos, esta interpretação deve ser considerada apenas como compactível com circulação de fluidos de baixa temperatura, e não como evidência conclusiva de hidrotermalismo.

As alterações secundárias observadas nas amostras incluem principalmente sericitização, oxidação, opacitização e, localmente, caulinitização. A distinção entre alterações hidrotermais e intempéricas foi realizada com base na distribuição espacial das feições, associação com fraturas e intensidade da substituição mineralógica. Alterações localizadas ao longo de microfraturas e associadas a microveios de quartzo, particularmente sericitização de feldspatos, podem sugerir possível circulação de fluidos tardios. Por outro lado, alterações mais difusas, caracterizadas por oxidação disseminada, formação de óxidos de ferro e desenvolvimento de caulinite, mostram maior compatibilidade com processos de meteorização intempérica superficial.

A identificação de caulinite nos difratogramas reforça a ocorrência de alteração significativa dos feldspatos. Contudo, a génese deste mineral não é inequívoca. Segundo Moore e Reynolds (1997), a caulinite pode formar-se tanto em ambientes intempéricos superficiais quanto em sistemas

hidrotermais ácidos de baixa temperatura. Assim, embora a presença deste argilomineral indique alteração química importante da rocha, os dados disponíveis não permitem distinguir de forma conclusiva entre origem hidrotermal ou intempérica.

A associação entre devitrificação da matriz, presença de minerais zeolíticos, circulação localizada de fluidos e alteração secundária sugere que os riolitos estudados passaram por múltiplos episódios pós-magmáticos. Estes processos provavelmente envolveram reorganização térmica da matriz vulcânica, interação fluido-rocha em baixa temperatura e meteorização superficial subsequente.

Do ponto de vista vulcanogenético, as características petrográficas observadas, incluindo matriz parcialmente vítrea, intensa devitrificação e abundância de micrólitos, são compatíveis com rochas vulcânicas félsicas formadas em ambiente subvulcânico a vulcânico superficial

De forma integrada, os resultados petrográficos e mineralógicos sugerem que os riolitos dos Pequenos Libombos registam uma evolução complexa envolvendo cristalização magmática, devitrificação pós-eruptiva da matriz vítrea, circulação localizada de fluidos de baixa temperatura e meteorização superficial posterior. A integração entre microscopia óptica e difracção de raios X permitiu não apenas identificar os principais constituintes mineralógicos das rochas, mas também discutir, de forma cautelosa, os processos responsáveis pela sua modificação textural e mineralógica ao longo da evolução pós-magmática.

CAPÍTULO V- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusão

O presente trabalho permitiu realizar a caracterização petrográfica e mineralógica dos riolitos dos Pequenos Libombos, na região de Boane, através da integração de observações macroscópicas, análise petrográfica em lâmina delgada e difracção de raios X (XRD). A abordagem integrada adoptada mostrou-se importante para o reconhecimento das principais associações minerais, microtexturas e evidências de alteração presentes nas rochas estudadas.

Do ponto de vista petrográfico, os riolitos analisados apresentam composição predominantemente félsica, sendo constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos alcalinos e plagioclase, acompanhados por minerais acessórios como biotite, muscovite, hematite e minerais opacos. As amostras apresentam predominantemente textura porfirítica, caracterizada pela presença de fenocristais dispersos numa matriz microlítica a criptocristalina, embora tenham sido observadas variações texturais entre os diferentes afloramentos analisados.

As observações microscópicas permitiram identificar diferentes microtexturas, incluindo esferulitos esféricos e axiolíticos, intercrescimentos quartzo-feldspato, agregados criptocristalinos e matrizes com diferentes graus de devitrificação. Estas feições sugerem que parte da matriz original poderá ter apresentado natureza parcialmente vítrea, posteriormente modificada por processos de reorganização mineralógica associada ao arrefecimento e evolução pós-eruptiva das rochas.

Foram igualmente observadas evidências de alteração mineralógica, particularmente associadas aos feldspatos, incluindo sericitização e presença de minerais micáceos finos, além da ocorrência de óxidos de ferro disseminados na matriz. Estas características indicam que os riolitos estudados foram afectados por processos de alteração posteriores à consolidação magmática, embora a intensidade dessas alterações varie entre as amostras analisadas.

Os resultados obtidos por difracção de raios X confirmaram a predominância de quartzo e feldspatos observados petrograficamente, permitindo igualmente identificar outras fases minerais presentes em algumas amostras, tais como sericite, caulinite, cristobalite, mordenite e zircão. Contudo, considerando que algumas destas fases não foram reconhecidas nas análises petrográficas, a interpretação da sua origem e significado geológico deve ser feita com cautela, sendo recomendável a realização de estudos complementares para melhor compreensão destas ocorrências.

De forma geral, os dados petrográficos e mineralógicos obtidos indicam que os riolitos dos Pequenos Libombos registam diferentes graus de devitrificação, recristalização e alteração mineralógica, reflectindo processos que actuaram após a consolidação das rochas vulcânicas. A integração entre petrografia e XRD contribuiu para uma caracterização mais detalhada destas litologias, permitindo ampliar o conhecimento actualmente disponível sobre os riolitos da região.

Assim, o presente estudo contribui para o conhecimento geológico dos Pequenos Libombos, fornecendo informações petrográficas e mineralógicas que poderão servir de base para futuras investigações geoquímicas, vulcanológicas e de evolução pós-magmática associadas à Cadeia Vulcânica dos Libombos.

5.2. Recomendações

Embora este estudo tenha alcançado o objectivo de caracterizar petrográfica e mineralogicamente os riolitos dos Pequenos Libombos, algumas limitações metodológicas, nomeadamente a ausência de análises geoquímicas quantitativas e de técnicas de maior resolução, não permitiram aprofundar certos aspetos da composição e da evolução destas rochas. Assim, apresentam-se recomendações que podem complementar e expandir o conhecimento aqui produzido.

- ✓ Recomenda-se a ampliação da amostragem em diferentes sectores dos Pequenos Libombos, de modo a permitir uma caracterização mais representativa das variações petrográficas, mineralógicas e texturais dos riolitos da região.
- ✓ Sugere-se a realização de análises geoquímicas de elementos maiores, menores e terras raras, visando complementar os dados petrográficos e mineralógicos e contribuir para uma melhor compreensão da evolução magmática destas rochas vulcânicas.
- ✓ Recomenda-se a aplicação de técnicas analíticas complementares, tais como microscopia electrónica de varrimento (MEV/SEM), microsonda electrónica e análises químicas pontuais, com o objectivo de confirmar e caracterizar com maior detalhe algumas fases minerais identificadas por difracção de raios X.
- ✓ Sugere-se o desenvolvimento de estudos mais aprofundados sobre os processos de devitrificação, recristalização e alteração mineralógica presentes nos riolitos dos Pequenos Libombos, de forma a compreender melhor a evolução pós-magmática destas rochas.
- ✓ Recomenda-se a integração futura de estudos petrográficos, mineralógicos e geoquímicos com dados estruturais e vulcanológicos, permitindo uma interpretação mais abrangente da evolução geológica da Cadeia Vulcânica dos Libombos.

CAPITULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Bande, C. (2024). *Estudo da Morfologia, Petrografia e Análise da Relevância Científica, Educativa e Turística dos Basaltos Colunares de Matsequenha, Distrito de Namaacha, para Fins de Geoconservação*. Tese de Licenciatura. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo.
- ✓ Barker, D. S. (1970). *Granophyre, myrmekite, and graphic granite*. Geological Society of America Special Paper, 127. Geological Society of America, Boulder, Colorado, USA.
- ✓ Caruso, F.; Oguri, V. (2006). *A História da Descoberta dos Raios X*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 28, n. 2, p. 241–248.
- ✓ Cullity, B. D. (1978). *Elements of X-Ray Diffraction*. 2nd ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- ✓ Deer, W. A.; Howie, R. A.; Zussman, J. (1992). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. 2nd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical.
- ✓ GTK,C. (2006a). *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique na Escala 1:250 000*. Volume 1. Maputo: Direcção Nacional de Geologia.
- ✓ Hay, R. L.; Sheppard, R. A. (2001). Occurrence of zeolites in sedimentary rocks: an overview. In: Bish, D. L.; Ming, D. W. (Eds.). *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Applications*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, v. 45. Mineralogical Society of America, p. 217–234.
- ✓ Hilário, L. I. (1996). *Monografia do Distrito de Boane*. Tese de Licenciatura. Departamento de Geografia, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo. Disponível em: <http://monografias.uem.mz>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ✓ Hildreth, W.; Moorbath, S. (1988). *Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of Central Chile*. Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 98, p. 455–489.
- ✓ Jenkins, R.; Snyder, R. L. (1996). *Introduction to X-Ray Powder Diffractometry*. New York: John Wiley & Sons.
- ✓ Klug, H. P.; Alexander, L. E. (1974). *X-Ray Diffraction Procedures for Polycrystalline*. 2.Ed. New York
- ✓ Lofgren, G. (1971). *Experimentally produced devitrification textures in natural rhyolitic glass*. Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 111–124. 1. Ed. New York

- ✓ Lofgren, G. (1979). *Studies on Radial and Axialitic Spherulites*. 1. ed. Washington
- McBIRNEY, A. R. (2007). *Igneous Petrology*. 3rd ed. Burlington: Jones and Bartlett Publishers.
- ✓ Mchphie, J.; Doyle, M.; Allen, R. (1993). *Volcanic Textures: A Guide to the Interpretation of Textures in Volcanic Rocks*. Hobart: Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania.
- ✓ Miambo, A. A. (1996). *Impactos da Barragem dos Pequenos Libombos nos Recursos Naturais do Distrito de Boane*. Tese de Licenciatura. Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo. Disponível em:
<http://monografias.uem.mz/bitstream/123456789/1366/1/1996%20%20Miambo%2C%20Antonio%20Augusto.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ✓ Ministério da Administração Estatal (MAE). (2005). *Perfil do Distrito de Boane*. Edição 2005. Maputo: Ministério da Administração Estatal; MÉTIER – Consultoria & Desenvolvimento, Lda.
- ✓ MAE, (2014). *Perfil do Distrito de Boane*. Província de Maputo, Moçambique: Ministério da Administração Estatal
- ✓ Moreira, M. (1999). *Formas de modelado nos leitos rochosos dos rios no sul de Moçambique*. Finisterra, v.34, n. 67-68, p.67–86. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/40841720_Formas_de_modelado_nos_leitos_rochosos_dos_rios_no_Sul_de_Mocambique. Acesso em: 13 mar. 2025.
- ✓ Moore, D. M.; Reynolds, R. C. (1997). *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. 2nd ed. New York: Oxford University Press.
- ✓ Nesse, W. D. (2012). *Introduction to Optical Mineralogy*. 4th ed. New York: Oxford University Press.
- ✓ Philpotts, A. R.; Ague, J. J. (2009). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- ✓ Sparks, R. S. J.; Wilson, L.; Hulme, G. (1977). *Theoretical modelling of the generation, movement and emplacement of pyroclastic flows by column collapse*. Journal of the Geophysical Research: solid Earth/ v.83, Issue B4/ pp. 1727-1739.
- ✓ Tipler, P. A.; Mosca, G. (2014). *Physics for Scientists and Engineers*. 6th ed. New York: W. H. Freeman.

- ✓ Vernon, R. H. (2004). *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ✓ Winter, J. D. (2010). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

ANEXOS

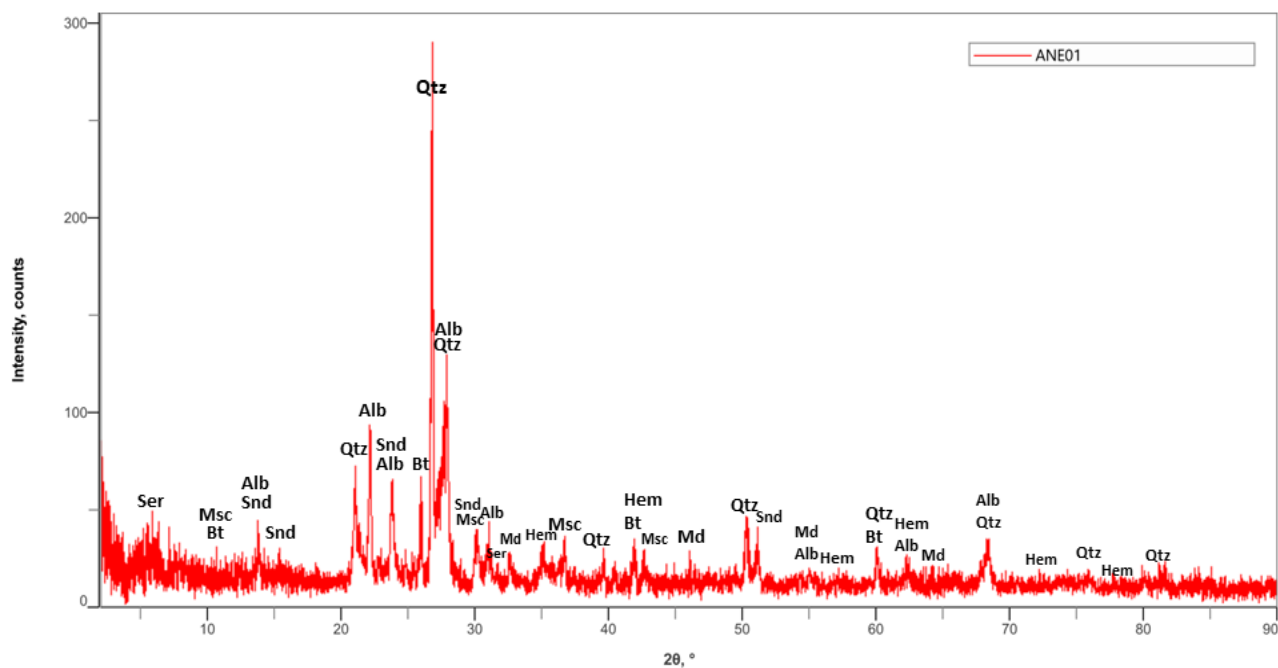
Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de
Boane, Província de Maputo- Moçambique

Anexo 1: Coordenadas geográficas das amostras e análises realizadas (uso)

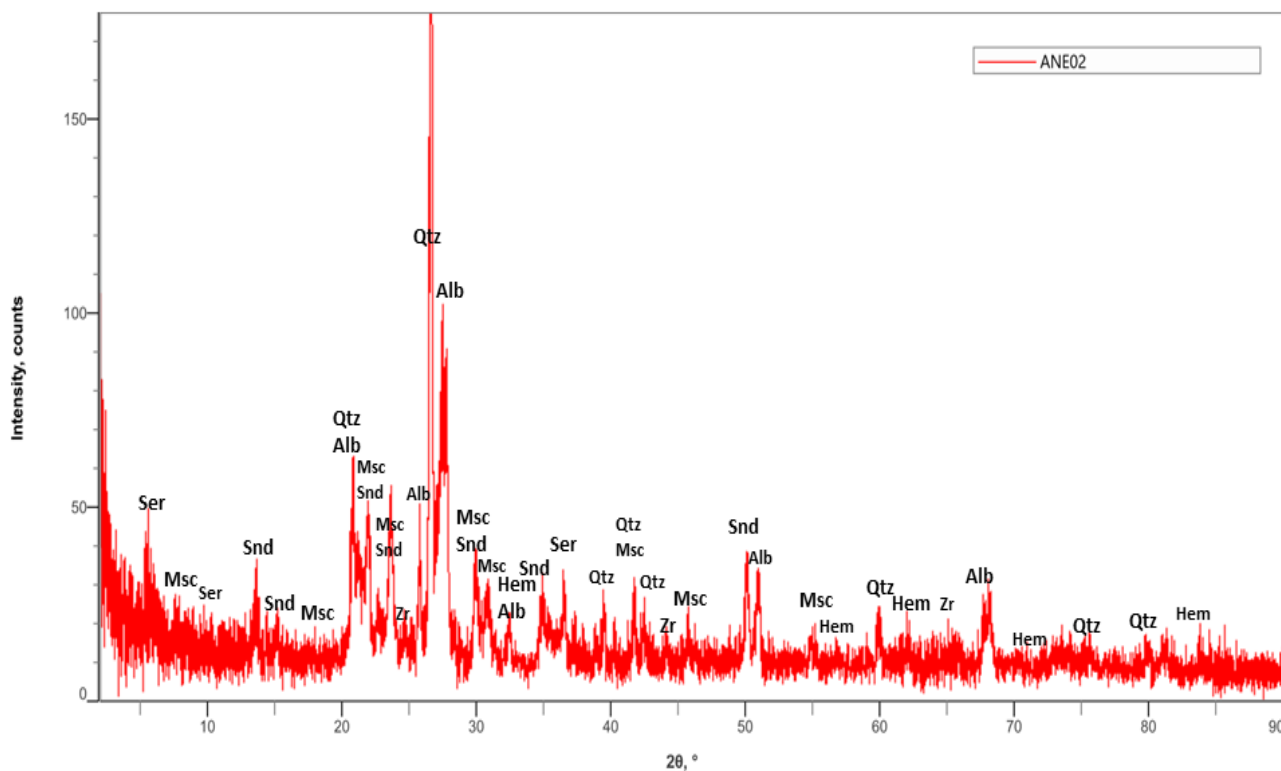
Amostra	Latitude	Longitude	Uso
ANE 01	-26.078	32.234	Petrografia; XRD
ANE 02	-26.045	32.234	Petrografia; XRD
ANE 03	-25.971	32.238	Petrografia; XRD
ANE 04	-25.936	32.254	Petrografia; XRD
ANE 05	-25.884	32.238	Petrografia; XRD
ANE 06	-25.81	32.263	Petrografia; XRD
ANE 07	-26.232	32.243	Petrografia; XRD
ANE 08	-26.206	32.267	Petrografia; XRD
ANE 09	-26.164	32.257	Petrografia; XRD
ANE 10	-26.129	32.280	Petrografia; XRD

Amostra	Matriz %	Quartzo %	K-felds (San ±anortoclase) %	Plagiocl -ase %	Minerais acessórios %	Minerais secundários %
ANE 01	35	20	20	15	4	<6
ANE 02	25	25	20	20	2	<8
ANE 03	45	25	5(Sanidina)	15	3	7
ANE 04	40	20	10	15	5	9
ANE 05	25	25	30 (S+A)	----	13	7
ANE 06	30	25	20(S+A)	5	8	12
ANE 07	35	25	20	10	5	5
ANE 08	40	20	20	10	5	5
ANE 09	35	25	10	25	3	2
ANE 10	30	25	15	20	5	5

Anexo 2: Proporções modais das amostras

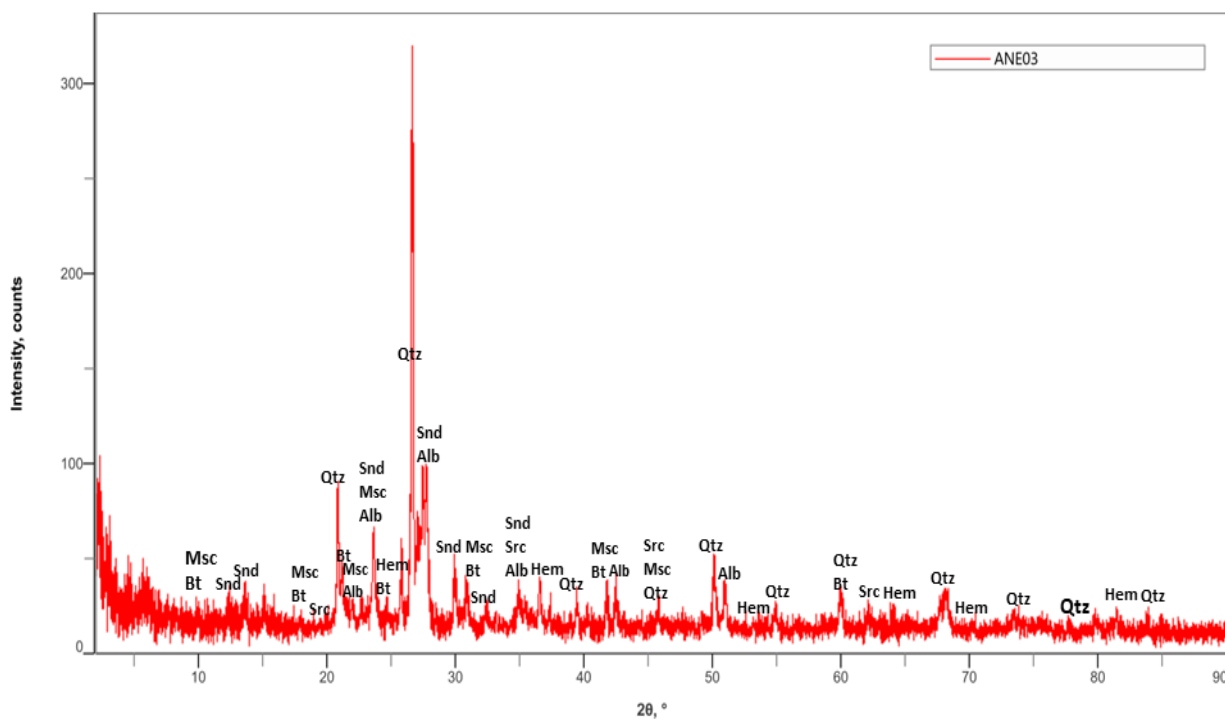


Anexo 3: Difractograma XRD da amostra ANE01. Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Md= mordenite; Hem= hematite.

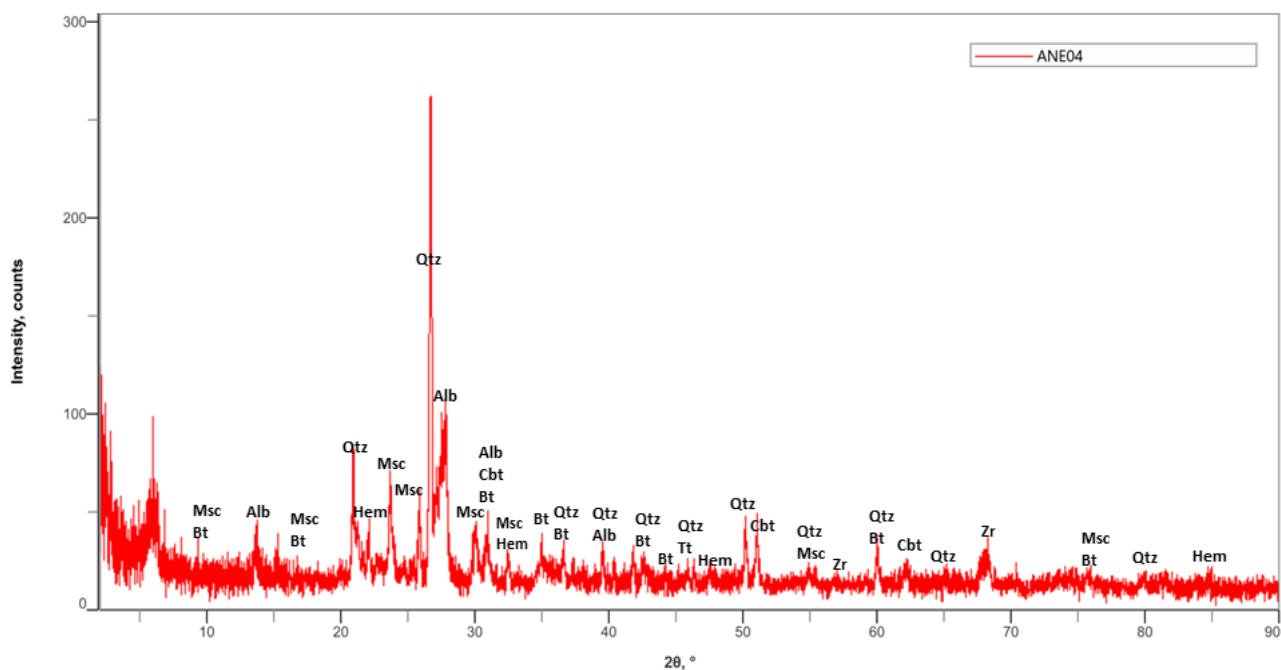


Anexo 4: Difractograma XRD da amostra ANE02. Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Zr= zircão; Qtz= quartzo; Hem= hematite.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

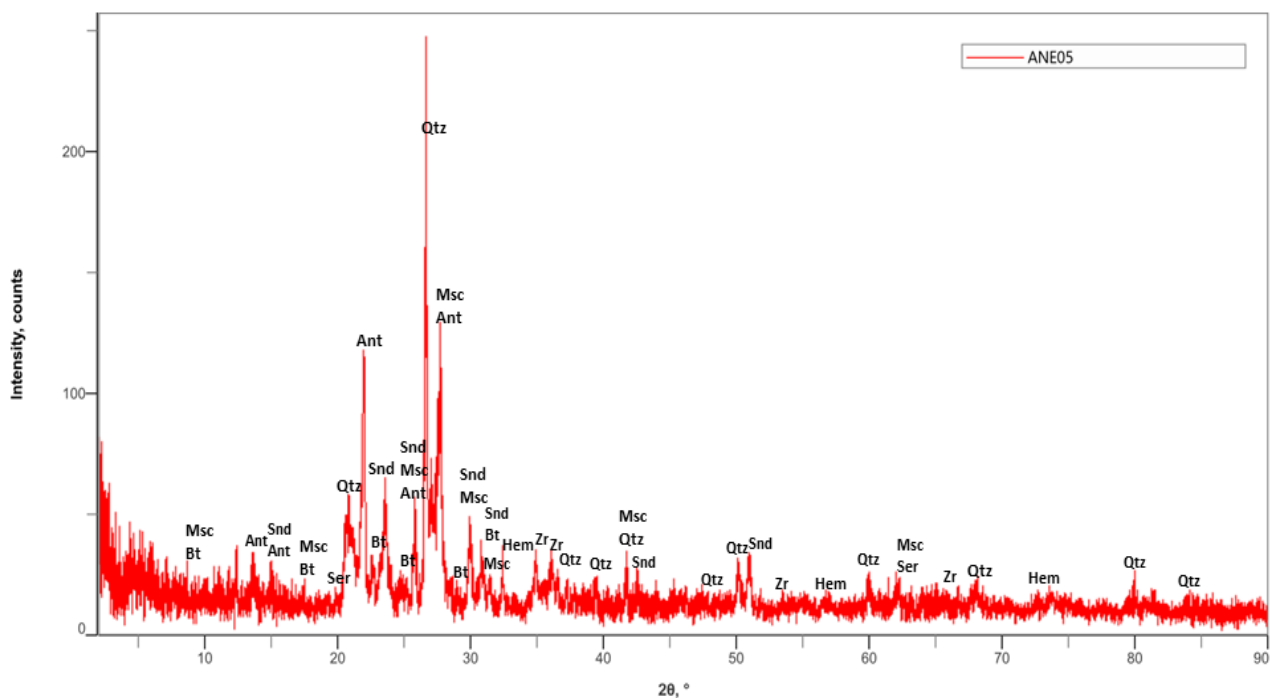


Anexo 5: Difractograma XRD da amostra ANE03. Ser= sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Hem= hematite.

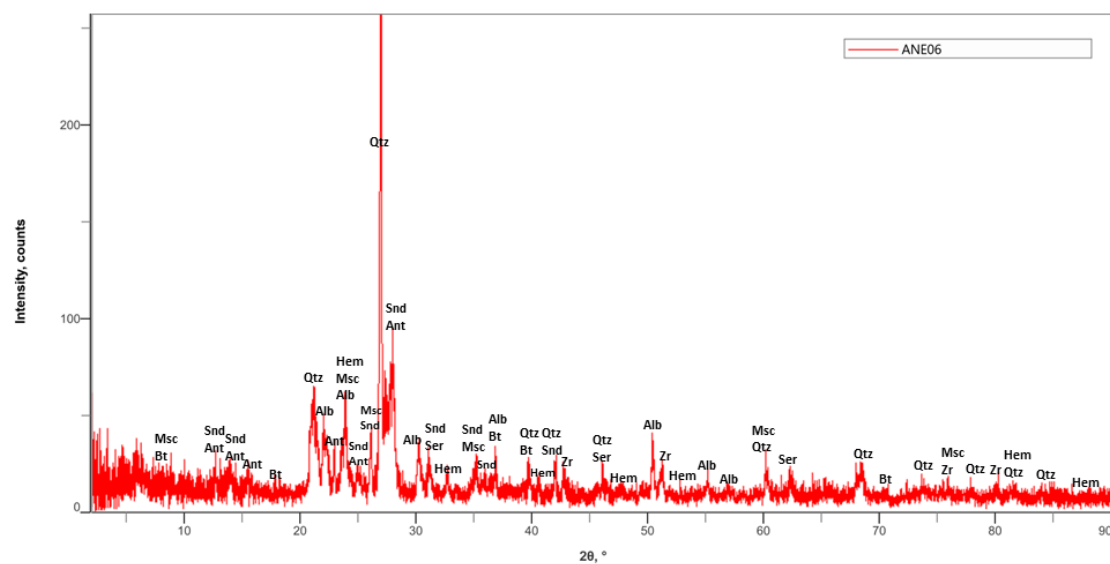


Anexo 6: Difractograma XRD da amostra ANE04. Msc= muscovite; Alb= albite; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Cbt= cristobalite; Zr= zircão; Hem= hematite.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riолitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

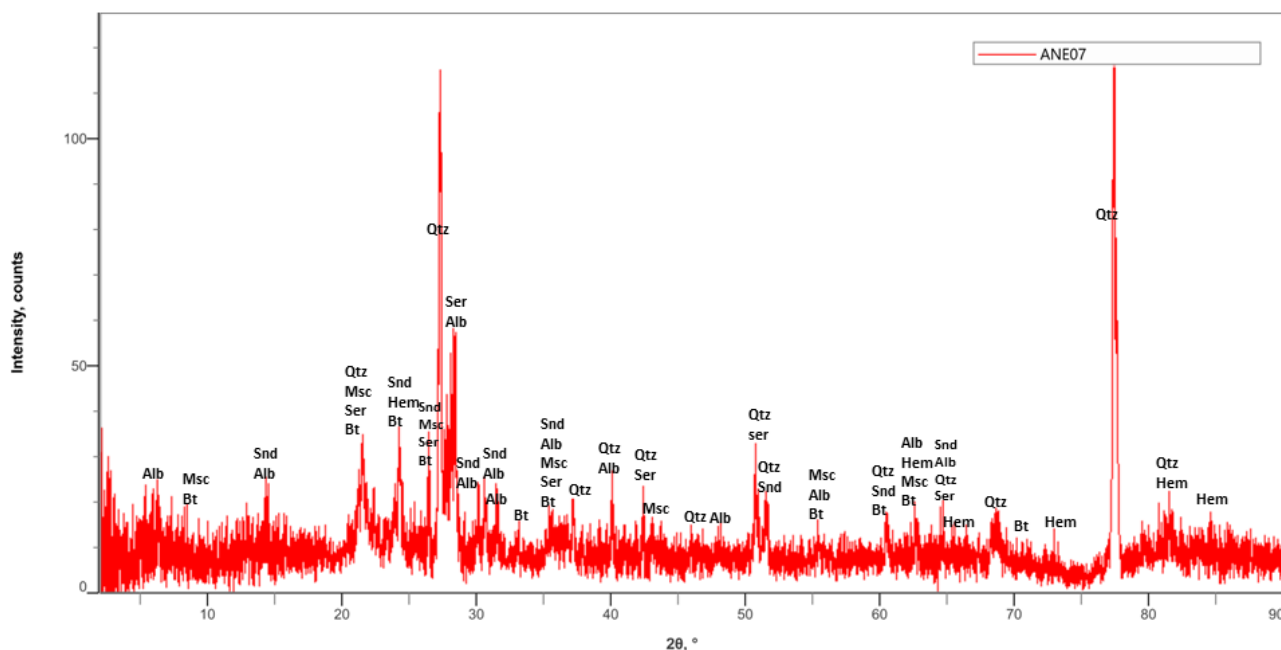


Anexo 7: Difractograma XRD da amostra ANE05. *Msc*= muscovite; *Ant*=Anorthoclase; *Ser*= sericite; *Snd*= sanidina; *Bt*= biotite; *Qtz*= quartzo *Zr*= zircão; ; *Hem*= hematite.

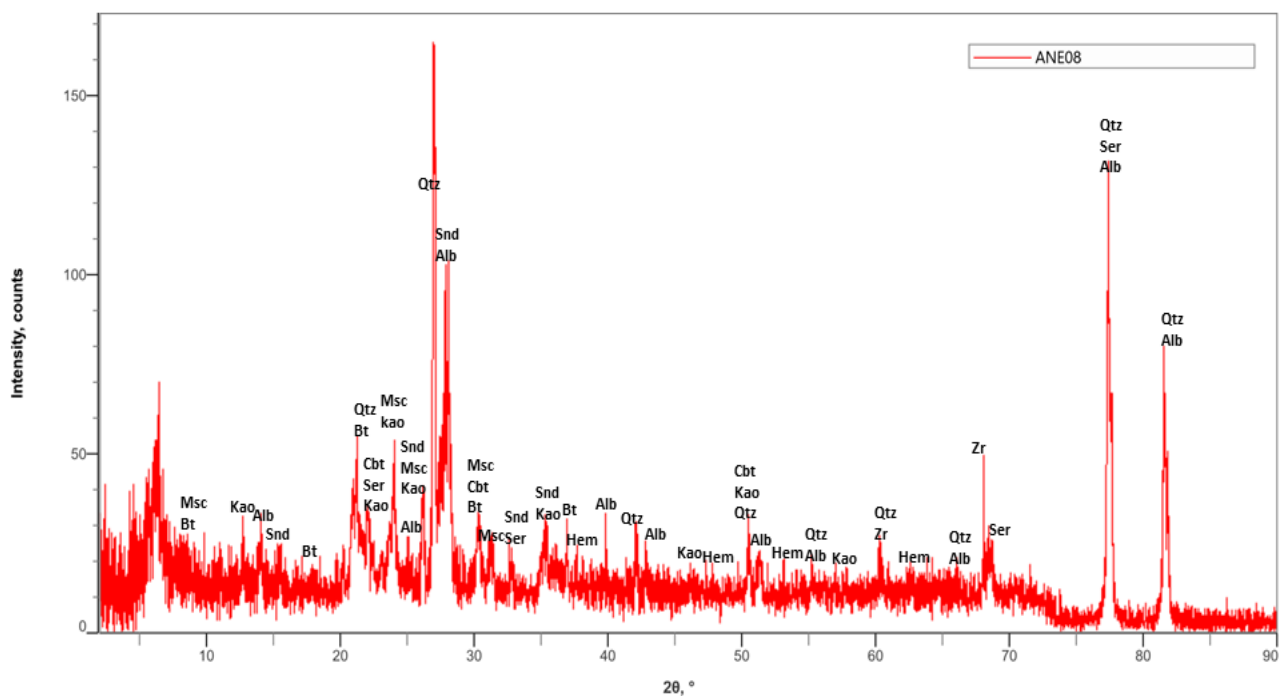


Anexo 8: Difractograma XRD da amostra ANE06. *Ser*=sericite; *Msc*= muscovite; *Ant*= anorthoclase; *Snd*= sanidina; *Bt*= biotite; *Qtz*= quartzo; *Zr*= zircão; *Hem*= hematite.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riолitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique

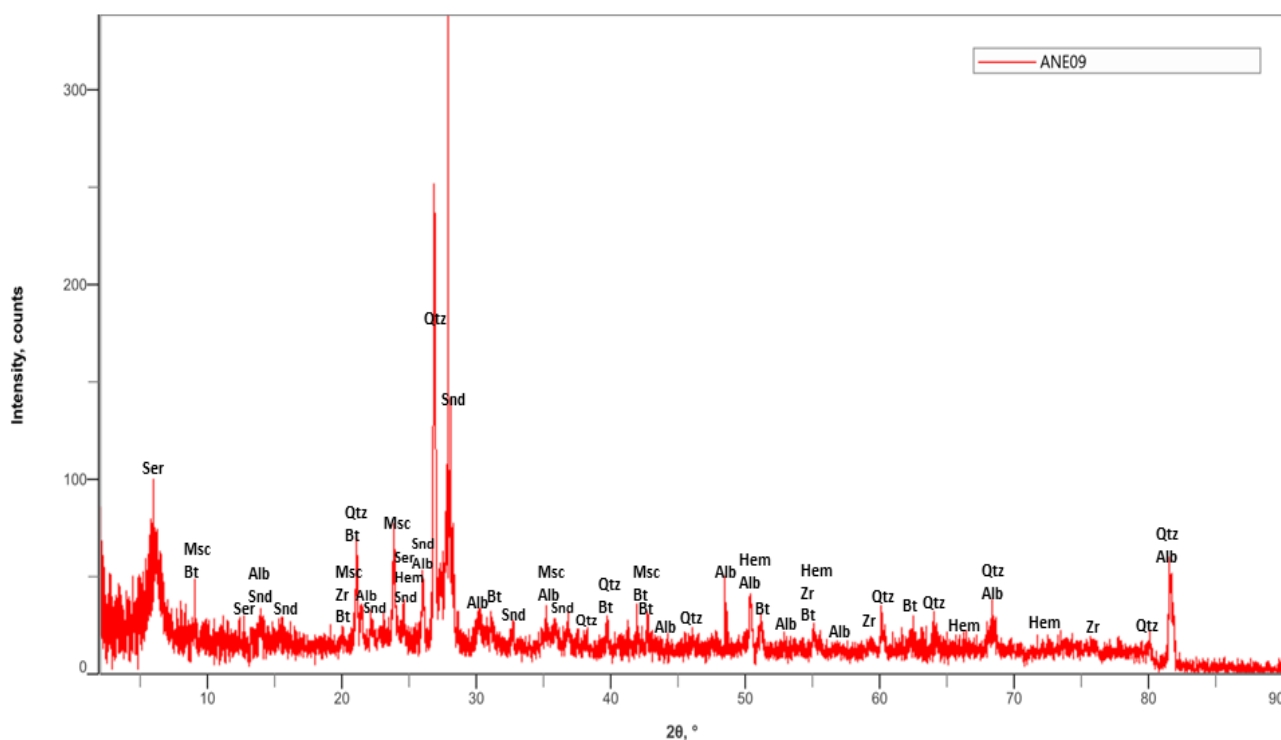


Anexo 9: Difractograma XRD da amostra ANE07. *Ser*=sericite; *Msc*= muscovite; *Alb*= albite; *Snd*= sanidina; *Bt*= biotite; *Qtz*= quartz; *Hem*= hematite.

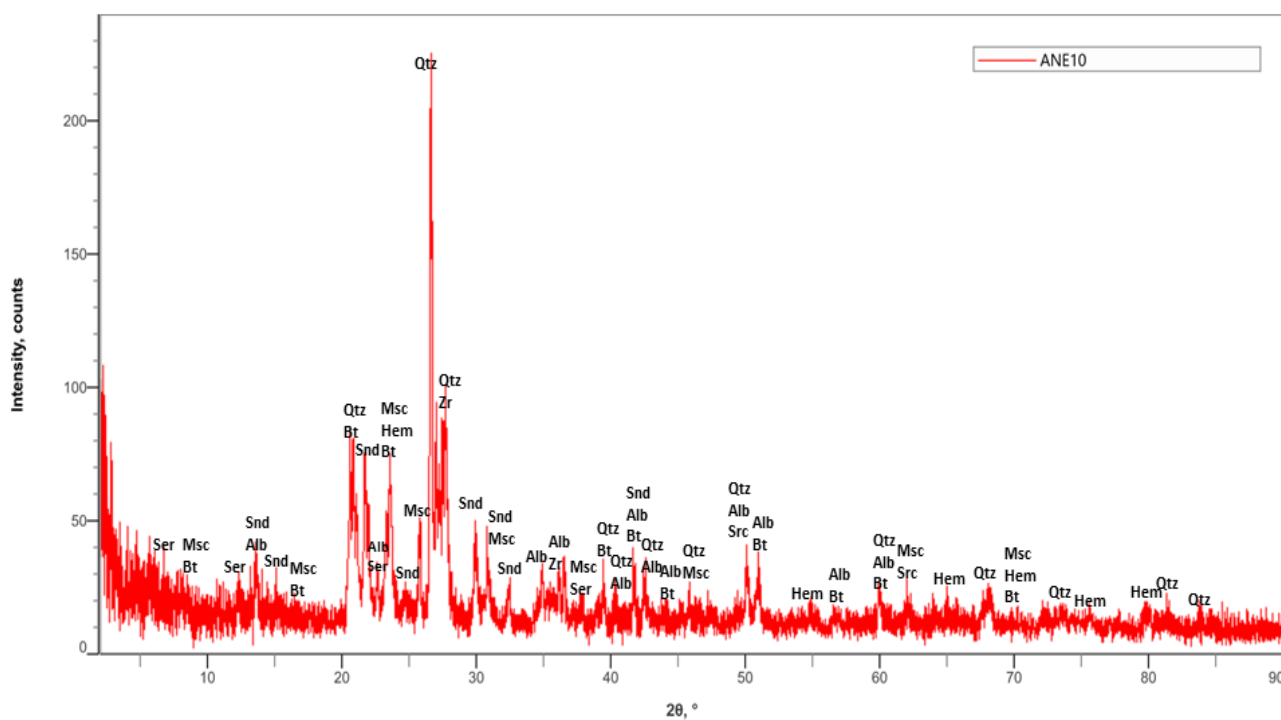


Anexo 10: Difractograma XRD da amostra ANE08. *Ser*=sericite; *Msc*= muscovite; *Alb*= albite; *Snd*= sanidina; *Bt*= biotite; *Qtz*= quartz; *Kao*= caulinite *Zr*= zircão; *Hem*= hematite.

Caracterização Petrográfica e Mineralógica dos Riolitos dos Pequenos Libombos na Região de Boane, Província de Maputo- Moçambique



Anexo 11: Difractograma XRD da amostra ANE09. Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Zr= zircão; Hem= hematite.



Anexo 12: Difractograma XRD da amostra ANE10. Ser=sericite; Msc= muscovite; Alb= albite; Snd= sanidina; Bt= biotite; Qtz= quartzo; Hem= hematite.

