



**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**PALOMA DE BRITO GUIMARÃES**

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS SUBMETIDOS A ONDAS DE TEMPESTADE**  
**“SWELL” NA PRAIA DE VIK BAY, SUL DA ISLÂNDIA.**

**Rio de Janeiro, RJ – Brasil**

**Julho, 2010**

**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**PALOMA DE BRITO GUIMARÃES**

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS SUBMETIDOS A ONDAS DE TEMPESTADE  
“SWELL” NA PRAIA DE VIK BAY, SUL DA ISLÂNDIA.**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. JOÃO WAGNER ALENCAR CASTRO  
LAGECOST: Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente /  
Departamento de Geologia e Paleontologia – Museu Nacional, UFRJ.**

**Rio de Janeiro, RJ – Brasil**

**Julho, 2010**

**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA - CCMN  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO**

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS SUBMETIDOS A ONDAS DE TEMPESTADE  
“SWELL” NA PRAIA DE VIK BAY, SUL DA ISLÂNDIA.**

**PALOMA DE BRITO GUIMARÃES**

**Aprovada por:**

---

**Dr. João Wagner Alencar Castro – MN / UFRJ**

---

**Dr. Julio Cezar Mendes – IGEO / UFRJ**

---

**Dra. Cícera Neysi de Almeida – IGEO / UFRJ**

**Rio de Janeiro, RJ – Brasil**

**Julho, 2010**

**FICHA CATALOGRÁFICA**

GUIMARÃES, Paloma de Brito.

**ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS SUBMETIDOS A ONDAS DE TEMPESTADE “SWELL” NA PRAIA DE VIK BAY, SUL DA ISLÂNDIA**

76 p., Instituto de Geociências, Departamento de Geologia – UFRJ, Monografia de Graduação, 2010.

Monografia: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia.

1 – Islândia

2 – Minerais Pesados

I – IGEO/UFRJ

## **DEDICATÓRIA**

Dedico aos meus pais José Ricardo Marino Guimarães e Maria Cristina de Brito Guimarães por acreditarem no meu sonho e pelo suporte em todos esses anos de faculdade.

Ao meu irmão Igor de Brito Guimarães pelo apoio nas minhas decisões.

Ao meu namorado Alessandro Rodrigues de Mattos por entender as minhas ausências e pelos incentivos nos momentos difíceis.

A todos os meus familiares que sempre torceram pelo meu sucesso.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro pela orientação e suporte durante o desenvolvimento deste projeto final de curso.

Ao Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila pelo tempo disponibilizado e pelos ensinamentos transmitidos durante a etapa de identificação mineralógica.

Ao Prof. Dr. Reiner Neumann por disponibilizar os equipamentos necessários para a elaboração do estudo.

Ao Prof. Dr. Everton Marques Bongiolo pelo material bibliográfico fornecido.

Ao Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente (LAGECOST), do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional / UFRJ, que durante os dois últimos anos me acolheu como membro, fornecendo o aprendizado utilizado no segmento costeiro e ambiental deste trabalho.

A todos os meus colegas de turma pelos anos de companheirismo e apoio nas diversas etapas do curso de graduação.

A todos os professores do Departamento de Geologia pelos ensinamentos adquiridos.

## RESUMO

### ESTUDO DOS MINERAIS PESADOS SUBMETIDOS A ONDAS DE TEMPESTADE “SWELL” NA PRAIA DE VIK BAY, SUL DA ISLÂNDIA

Paloma de Brito Guimarães

Os minerais pesados contidos nos sedimentos costeiros são frequentemente utilizados como ferramenta para o conhecimento da proveniência sedimentar e também na compreensão dos processos de transporte e deposição de material ao longo da linha de praia. A análise dos constituintes minerais, assim como o padrão morfométrico, constitui em uma das técnicas mais utilizadas em geologia costeira na compreensão do processo de seleção hidráulica modelada por ondas, correntes e marés. Objetiva-se através desse trabalho estudar os aspectos sedimentológicos e mineralógicos do material que constitui a praia de *Vik bay* localizada no sul da Islândia, a 130 km da capital *Reikejavick*. A referida praia caracteriza-se por estágio morfodinâmico dissipativo a intermediário com múltiplas arrebentações de ondas, predominantemente de tempestade “*swell*” proveniente do quadrante sul em ambiente de meso - maré. A ação das ondas extremamente energéticas com altura na arrebentação de até 4,0m seleciona hidraulicamente os minerais pesados no limite de preamar, carreando as frações leves no sentido *offshore*. Como metodologia foi feito levantamentos bibliográficos, além de análises laboratoriais e petrográficas. Os resultados obtidos apontam que os sedimentos estudados são característicos de rochas básicas, tipicamente basaltos, provenientes das extrusões adjacentes à área do vulcão *Eyjaftjallajokull*. A análise dos grãos revelou presença de ilmenita, apatita, vidro vulcânico, diopsídio, olivina, plagioclásio, limonita, pirita limonitizada, magnetita, limonita, rutilo, anfibólio basáltico e fragmentos de rocha. Os grãos apresentam uma morfometria arredondada em decorrência do retrabalhamento de ondas de alta energia. Foi possível constatar que o processo de seleção hidráulica é extremamente eficaz na distribuição e permanência dos minerais pesados na praia de *Vik bay*.

Palavras - chave: Islândia e minerais pesados.

## ABSTRACT

### STUDY OF HEAVY MINERALS SUBMITTED TO STORM WAVES "SWELL" IN VIK BEACH, SOUTH OF ICELAND

The heavy minerals of coastal sediments are frequently used as a tool for the study of the sedimentary provenance and to understand the processes of transportation and deposition of the material throughout the beach line. The analysis of the minerals, as well as the morphometric standard, constitutes one of the most commonly used techniques in coastal geology for understanding the process of hydraulic selection shaped by waves, currents and tides. The objective of this research is to study the sedimentological and mineralogical aspects of the material that constitutes the beach of Vik bay located in the southeast of Iceland, about 130 km from the capital Reikejavick. The mentioned beach is characterized by a dissipative and intermediate morphodynamic stage with multiple breaking waves, mainly of storm swells from the south quadrant in a meso-tide environment. The action of extremely high energy waves with heights of up to 4,0m in the surf zone hydraulically selects heavy minerals in the high tide, carrying the light fractions to the offshore. As a methodology, bibliographical researches were made, as well as laboratory and petrographic analyses. The results indicate that the sediments studied are provenient of basic rocks, typically basalts from extrusions adjacent to the Eyjafjallajökull volcano. The analysis revealed the presence of grains of ilmenite, diopside, olivine, plagioclase, apatite, volcanic glass, limonite, limonite pseudomorphs after pyrite, magnetite, rutile, amphibole basaltic and rock fragments. The grains exhibit a rounded morphology due to high energy wave reworking. It was found that the hydraulic selection process is extremely effective in the distribution and persistence of heavy minerals on the beach at Vik bay.

Key words: Iceland and heavy minerals.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa da Islândia com destaque para a área de estudo e modelagem topográfica do terreno próximo à *Vik bay* (Atlas geográfico mundial). Foto: J. W. A. Castro (2009).....02
- Figura 2.** Mapa de localização da área estudada mostrando o anel rodoviário e suas ramificações em vermelho.....03
- Figura 3.** Mapa geológico da Islândia com suas divisões segundo as épocas dos eventos magmáticos e alguns edifícios vulcânicos. Fonte Weisenberger (2009).....05
- Figura 4.** Planície costeira no segmento sul da Islândia submetida a regime de meso-maré. Foto J. W. A. Castro (2009).....07
- Figura 5.** Segmento da dorsal Meso Atlântica, com a Islândia em destaque.....08
- Figura 6.** Acresção crustal e evolução do *rift* da Islândia. Fonte: Weisenberger (2009).....09
- Figura 7.** Modelagem da pluma mantélica localizada abaixo da Islândia. Fonte: Stewart (2007).....10
- Figura 8.** Limite da placa Norte Americana (A) e Eurasiática (B) na região do *Pingvellir*, centro sul da Islândia. Foto: J. W. A. Castro (2009).....11
- Figura 9.** Erupção do vulcão *Eyjafjallajökull* próximo a *Vik bay*. Foto: J. W. A. Castro (2009).....11
- Figura 10.** Mapa vulcano-tectônico da Islândia. Em amarelo estão os enxames fissurais; Centros e caldeiras vulcânicas são delineados com linhas vermelhas e pretas, respectivamente. As linhas azuis representam os centros de zonas de flanco vulcânicas (zonas vulcânicas *off-rift*). VFZ: Zona de flanco vulcânica; RRZ: Zona do *Rift Reykjanes*; WRZ: Zona do *Rift* Ocidental; ERZ: Zona do *Rift* Oriental; NRZ: Zona do *Rift* do Norte; MIB: Cinturão Meso-islandês; SIFZ: Zona de Fratura Sul islandesa; TFZ: Zona de Fratura *Tjörnes*; ZEE: Zona Sudeste; V: *Vatnajökull*. Fonte: Weisenberger (2009).....12
- Figura 11.** Localização das rochas que compõem as séries toleítica, alcalina e transicional. Fonte: Jónsson (2007).....13

- Figura 12.** Enxame de diques de basalto com disjunção colunar modelando a paisagem do sul da Islândia. Foto J. W. A. Castro (2009).....14
- Figura 13.** Campo de lava próximo ao vulcão *Eyjaftallajokull*. Foto J.W.A.Castro (2009).....14
- Figura 14.** (A) Imagem de satélite da Islândia no verão. (B) Imagem de satélite da Islândia no inverno. Fonte: NASA.....15
- Figura 15.** Mapa da Islândia com as geleiras permanentes. Destaque na geleira *Vantnajöku*, a maior do país. Foto: J. W. A. Castro (2009).....16
- Figura 16.** Imagem de satélite dos fiordes do oeste da Islândia. Fonte: Google Earth.....16
- Figura 17.** Mapa da região ao entorno da Islândia, mostrando as curvas batimétricas e as cordilheiras que delimitam a bacia da Islândia. Fonte: Malmberg (2004).....17
- Figura 18.** Mapa batimétrico da Islândia com curvas a cada 500m. Em vermelho os eixos ativos e inativos de espalhamento da dorsal. RR: Dorsal *Reykjanes*; KR: Dorsal *Kolbeinsey*; AER: Dorsal *Aegir*; IP: Planalto da Islândia; GF: Dorsal Groenlândia - *Feröer*. Fonte: Weisenberger (2009).....18
- Figura 19.** Mapa mostrando as corrente que banham o litoral da Islândia. Fonte: Jónsson (2008).....19
- Figura 20.** Praia na baía de *Vik*, constituída por sedimentos de coloração escura provenientes das rochas adjacentes. Foto: J. W. A. Castro (2009).....20
- Figura 21.** Praia de *Vik* delimitado por falésias de origem vulcânica inibindo o processo de recuo de linha de praia. Foto: J. W. A. Castro (2009).....21
- Figura 22.** Aspectos geológicos e morfodinâmico do segmento leste da praia de *Vik bay*. Foto: J. W. A. Castro (2009).....22
- Figura 23.** Amostras de rochas coletadas na área de *Vik bay*, Islândia. A: *Pingvellir* – Placa Européia B: *Vik Beach*; C: *Gullfoss*. D: *Skaftafell*.....25

<b>Figura 24.</b> A: Captura da magnetita através de imã de mão. B: separador magnético <i>Frantz</i> .....	27
<b>Figura 25.</b> Materiais utilizados para separação densimétrica.....	28
<b>Figura 26.</b> Lupa binocular utilizada durante a fase de separação mineralógica.....	28
<b>Figura 27.</b> A: Difratoograma de raio-X D4 Endeavor. B: suporte de background zero.....	29
<b>Figura 28.</b> Briquetes confeccionados para análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV).....	30
<b>Figura 29.</b> Semi metalizador Spretter Coater BAL-TEC SCD 005.....	31
<b>Figura 30.</b> Briquetes sobre os suportes, a seta indica a localização do cimento condutivo.....	31
<b>Figura 31.</b> Briquetes inseridos na câmara interna do microscópio eletrônico de varredura.....	32
<b>Figura 32.</b> Mapa da Islândia com destaque para as áreas de coleta dos litotipos.....	33
<b>Figura 33.</b> Amostra coletada em <i>Pingvellir</i> , Islândia.....	34
<b>Figura 34.</b> Massa formada por cristais xenomórficos de piroxênio configurando a textura ofítica, englobando totalmente o plagioclásio (destaque em vermelho). Observar os interstícios preenchidos por vidro vulcânico, textura intersetal.....	34
<b>Figura 35.</b> Textura subofítica, englobamento parcial do plagioclásio (destaque em vermelho) e estrutura em roseta (destaque em amarelo).....	35
<b>Figura 36.</b> Fenocristais olivina (Oli) e clinopiroxênio (Cpx) com inclusões de opacos.....	35
<b>Figura 37.</b> Piroxênios (Px) xenomórficos agregados constituindo uma massa de preenchimento dos interstícios entre os fenocristais.....	36
<b>Figura 38.</b> Rocha coletada na escarpa praial de <i>Vik bay</i> .....	36
<b>Figura 39.</b> Orientação dos cristalitos de plagioclásio indicando o fluxo magmático.....	37
<b>Figura 40.</b> Destaque para as feições de embainhamento em piroxênio e plagioclásio.....	37

<b>Figura 41.</b> Fenocristal de plagioclásio corroído e embainhado apresentando geminação carlsbad.....	38
<b>Figura 42.</b> Fenocristal de ortopiroxênio com feição de embainhamento. Destaque para a orientação dos cristalitos de plagioclásio.....	38
<b>Figura 43.</b> Rocha coletada na região de <i>Gullfoss</i> , Islândia.....	39
<b>Figura 44.</b> Textura subofítica, inclusão parcial de plagioclásio por clinopiroxênio, representando cristalização simultânea.....	39
<b>Figura 45.</b> Plagioclásio exibindo geminação polissintética. Destaque para a estrutura em roseta em A, crescimento de micrólitos de plagioclásio nucleados a partir de um ponto central único, e para a textura glomeroporfirítica em B, aglomerado de fenocristais de plagioclásio.....	40
<b>Figura 46.</b> Plagioclásio encontrado em três formas distintas: micrólitos, hipidiomórfico com vestígio de corrosão e idiomórfico. Em ambas as imagens a geminação dos fenocristais é carlsbad. Observar a textura intergranular bem representada na figura A, onde surge um fenocristal de plagioclásio intersticial a rede formada pelas ripas de plagioclásio.....	40
<b>Figura 47.</b> Fenocristal de ortopiroxênio (Opx) encontrado na rocha.....	41
<b>Figura 48.</b> Olivina (Oli) imersa na matriz vítrea circundada por micrólitos de plagioclásio e por cristal de clinopiroxênio (Cpx). Imagem apresentando a maior parte dos interstícios preenchidos por vidro vulcânico.....	41
<b>Figura 49.</b> Rocha coletada na região de <i>Skaftafell</i> , Islândia.....	42
<b>Figura 50.</b> Círculo em vermelho destacando a textura subofítica formada pela inclusão parcial de plagioclásio em clinopiroxênio.....	43
<b>Figura 51.</b> Agregado de fenocristais de plagioclásio, indicando a textura glomeroporfirítica.....	43
<b>Figura 52.</b> Círculo em vermelho destaca a presença de esferulito.....	44
<b>Figura 53.</b> Curva de frequência mostrando o $d_{50}$ da amostra da porção leste.....	45

- Figura 54.** Curva de frequência apresentando o  $d_{50}$  da amostra da porção oeste.....46
- Figura 55.** Minerais em grãos moderadamente selecionados mostrando superfícies.....47
- Figura 56.** Concentrado de olivina presente nas frações 0,3A a 0,6A.....48
- Figura 57.** Cristal individual de olivina apresentando vestígios do sistema ortorrômbico.....48
- Figura 58.** Gráfico obtido por difratometria de raios-X mostrando os picos característicos da olivina em vermelho e alguns picos relativos à presença de quartzo em azul.....49
- Figura 59.** Grãos de diopsídio encontrados principalmente na fração de 0,8 Ámpéres.....49
- Figura 60.** Raro cristal de diopsídio exibindo seu sistema cristalino.....50
- Figura 61.** Gráfico gerado pelo Difrac Plus XRD após análise dos grãos de diopsídio, observar os picos característicos e a presença de quartzo na amostra.....50
- Figura 62.** Amostra denominada mineral fumê antes da análise de raio-X.....51
- Figura 63.** Gráfico da amostra denominada mineral fumê demonstrando picos de diopsídio.....51
- Figura 64.** Cristal de magnetita atraído pelo imã de mão. Ao lado esquema da forma cristalográfica.....52
- Figura 65.** Grãos de ilmenita encontrados principalmente na fração 0,3A. Ao lado esquema da forma cristalográfica com as direções ópticas.....52
- Figura 66.** Análise da amostra denominada ilmenita onde se observa a grande presença de labradorita e diopsídio, seguidos por concentrações menores de ilmenita e rutilo.....53
- Figura 67.** Cristais pseudomorfos de limonita sobre pirita encontrados na fração 0,3A. Ao lado esquema da forma cristalográfica com as direções ópticas.....53
- Figura 68.** Cristais de apatita apresentando resquícios do hábito prismático típico desse mineral.....54
- Figura 69.** Fragmentos de vidro vulcânico apresentando brilho vítreo característico e várias arestas.....55
- Figura 70.** Feições vesiculares típicas de aprisionamento de gás em fragmentos vítreos.....55
- Figura 71.** Gráfico gerado pelo difratograma de raios-X mostrando a ausência de picos devido à falta de estrutura cristalina.....56

<b>Figura 72.</b> Grãos de quartzo encontrados após a separação densimétrica.....	57
<b>Figura 73.</b> Cristais de plagioclásio. A coloração ocorre de acordo com o grau de alteração.....	57
<b>Figura 74.</b> Grãos de anortita anteriormente chamados de minerais claro com brilho nacarado.....	58
<b>Figura 75.</b> Gráfico da análise de raio-X mostrando os picos típicos da presença de anortita.....	58
<b>Figura 76.</b> Grãos atraídos pela corrente de 0,3A separados para análise no microscópio eletrônico de varredura.....	59
<b>Figura 77.</b> Imagem do grão onde se pode observa a presença de matriz homogênea vítrea com plagioclásio tabulares corroídos (círculo preto), além de olivina (círculo amarelo) e ilmenita (círculo vermelho) .....	60
<b>Figura 78.</b> Briquete B onde estão imersos os grãos analisados.....	61
<b>Figura 79.</b> Grão contido no briquete B caracterizado como sendo uma hornblenda basáltica também conhecida como lamprobolita, devido às concentrações de silício, alumínio, sódio e ferro. Os círculos pretos assinalam a presença de clinopiroxênio.....	61
<b>Figura 80.</b> Grão de hornblenda basáltica com inclusões de clinopiroxênio em preto e de ilmenita em amarelo.....	62
<b>Figura 81.</b> Briquete C com os fragmentos analisados.....	63
<b>Figura 82.</b> Fragmentos de rocha observados no microscópio eletrônico de varredura.....	63
<b>Figura 83.</b> Ampliação da imagem de um dos fragmentos de rocha anteriores mostrando a composição mineralógica. Círculo em preto representa plagioclásio tabulares, círculo amarelo destaca a olivina e círculo vermelho a ilmenita.....	64
<b>Figura 84.</b> Imagem de outro grão da amostra C apresentando a mesma mineralogia onde se pode observar estrutura de fluxo.....	65
<b>Figura 85.</b> Amostra D com os grãos analisados.....	66

<b>Figura 86.</b> Fragmento de rocha exibindo granulação muito fina em uma matriz homogênea vítrea.....	66
<b>Figura 87.</b> Fragmento de rocha semelhante à imagem anterior, apresentando também à mesma mineralogia.....	67
<b>Figura 88.</b> Fragmento de rocha onde se observam minerais sem forma definida, porém contendo a mesma mineralogia. Seta preta aponta plagioclásio, a amarela (clinopiroxênio) e a vermelha (ilmenita).....	68
<b>Figura 89.</b> Análise química do mineral identificado como clinopiroxênio. Observar altas concentrações de silício, cálcio e magnésio.....	69
<b>Figura 90.</b> Análise química do mineral identificado como ilmenita. Observar picos de titânio e ferro.....	70
<b>Figura 91.</b> Análise química do mineral identificado como plagioclásio apresentando altas concentrações de silício, alumínio e cálcio.....	71

#### LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Relação de pesos obtidos após os processos granulométricos. Dados referentes ao segmento leste de <i>Vik bay</i> .....	45
<b>Tabela 2.</b> Relação de pesos obtidos após os processos granulométricos. Dados referentes ao segmento oeste de <i>Vik bay</i> .....	46

<b>SUMÁRIO</b>	<b>Pág</b>
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX-XV
LISTA DE TABELAS.....	XV
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	03
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>04</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	04
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	04
<b>3. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>05</b>
3.1. GEOLOGIA REGIONAL.....	05
3.2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	08
3.3. VULCANISMO.....	12
3.4. GELEIRAS.....	15
3.5. GEOLOGIA MARINHA.....	17
3.5.1. Dorsal <i>Reykjanes</i> .....	17
3.5.2. Dorsal Islândia – <i>Feröer</i> .....	18
3.5.3. Plataforma continental.....	18
3.5.4. Talude continental, Sopé e Planície abissal.....	19
3.6. OCEANOGRAFIA.....	19
<b>4. ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>20</b>
4.1. GEOLOGIA COSTEIRA.....	20
4.2. OCEANOGRAFIA.....	22

<b>5. MATERIAL E MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
5.1. ANALISE PETROGRÁFICA.....	24
5.2. ANALISE GRANULOMÉTRICA.....	25
5.3. ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS.....	26
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>33</b>
6.1. PETROGRAFIA.....	33
6.1.1. <i>Pingvellir</i> .....	34
6.1.2. <i>Vik Beach</i> .....	36
6.1.3. <i>Gullfoss</i> .....	39
6.1.4. <i>Skaftafell</i> .....	42
6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.....	45
6.3. MINERAIS IDENTIFICADOS.....	47
6.3.1. Minerais Pesados.....	47
6.3.2. Minerais Leves.....	54
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de minerais pesados para delimitar a proveniência sedimentar, fonte litológica e o paleotransporte foi reconhecida desde o início do século XX, enquanto a gama de aplicações de minerais pesados aumentava progressivamente em paralelo com o crescimento da tecnologia moderna (Mange *et al.* 2007).

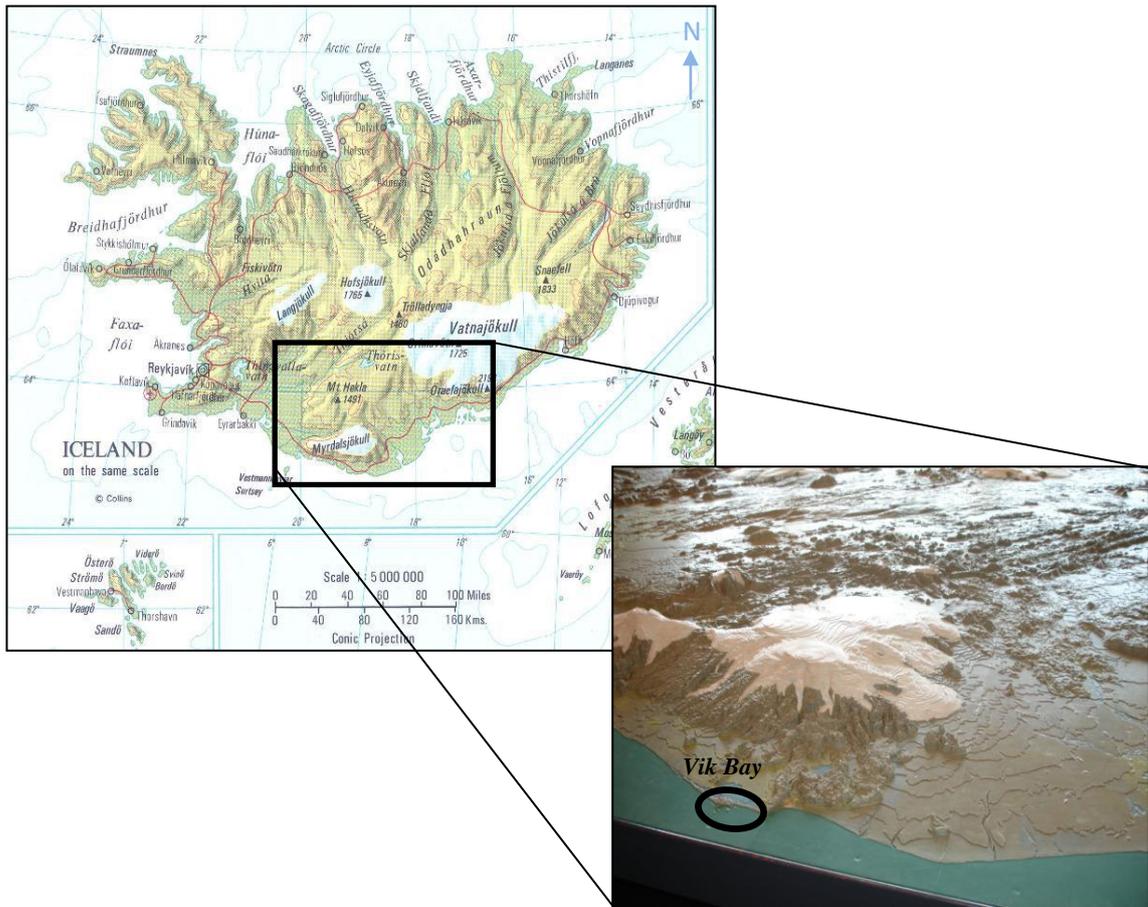
O avanço das pesquisas levou ao reconhecimento dos efeitos causados por mecanismos hidráulicos nos processos deposicionais. Esses processos afetam a seleção mineralógica, que ocorre de acordo com as características morfológicas, dimensionais e composicionais de cada grão.

São denominados como minerais pesados os fragmentos detríticos dos minerais acessórios componentes da rocha, que possuam densidade igual ou superior a  $2,9 \text{ g/cm}^3$  (Pereira *et al.* 2005). Sua concentração se deve a queda de energia do agente transportador (Castro *et al.* 2006). São minerais instáveis, devido às altas temperaturas e pressões necessárias a sua formação, tornando-os pouco resistentes aos eventos intempéricos.

O processo de fragmentação da partícula começa durante o transporte, onde as clivagens fornecem planos preferenciais de quebra, o que facilita o ataque de agentes químicos, provocando maiores alterações. Esses processos são contínuos, até o momento de destruição completa do grão (Teixeira *et al.*, 2008).

O estudo de minerais pesados submetidos a ondas de tempestade “*swell*” em uma área em plena atividade geológica recente como a Islândia demonstra não só a alta energia do agente transportador com também os processos formadores de rocha paralelamente aos eventos desagregadores e formadores de depósitos sedimentares inconsolidados, como é o caso das areias negras de *Vik bay* advindas da fragmentação de basaltos próximos à região do vulcão *Eyjafjallajokull*.

A área de estudo localiza-se no sul da Islândia, Atlântico Norte, precisamente entre a Groenlândia (287 km) e a Noruega (970 km) limitada ao Norte pelo Círculo Polar Ártico (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa da Islândia com destaque para a área de estudo e modelagem topográfica do terreno próximo à Vik bay (Atlas geográfico mundial). Foto: J. W. A. Castro (2009).

Geologicamente a região é delimitada pelo vulcanismo e pela ação do gelo, que ao longo do tempo transformam esse imenso bloco basáltico em uma paisagem constituída por planícies de marés, baías, fiorde, praias arenosas e lagos.

Topograficamente, a ilha consiste em um planalto com 500m de altitude, dominado por desertos gelados, influenciados por fontes termais e gêiseres. Devido ao clima mais rigoroso, ao relevo e aos vulcões ativos, o interior do país é pouco povoado, sendo a região costeira dominada pela quase totalidade de seus 300.000 habitantes. As condições litorâneas são mais favoráveis à habitação devido à atuação de duas correntes oceânicas que banham a Islândia, a corrente quente vinda do Golfo do México e a corrente fria da Groenlândia.

## 1.1. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O acesso a área, partindo da capital *Reikejavick*, se faz pelo anel rodoviário sul – sudeste, via principal que passa pelas planícies costeiras quase em contato com o mar. A área de estudo localiza-se na baía de *Vik* entre as coordenadas UTM da zona 27, 597617.33m E e 7033896.93m N, a 130km da capital *Reikejavick*, próxima a localidade de *Dyrhólacy* (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de localização da área estudada mostrando parte do anel rodoviário e suas ramificações em vermelho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo estudar os minerais pesados submetidos a ondas de tempestade “*swell*” na praia de *Vik bay*, sul da Islândia.

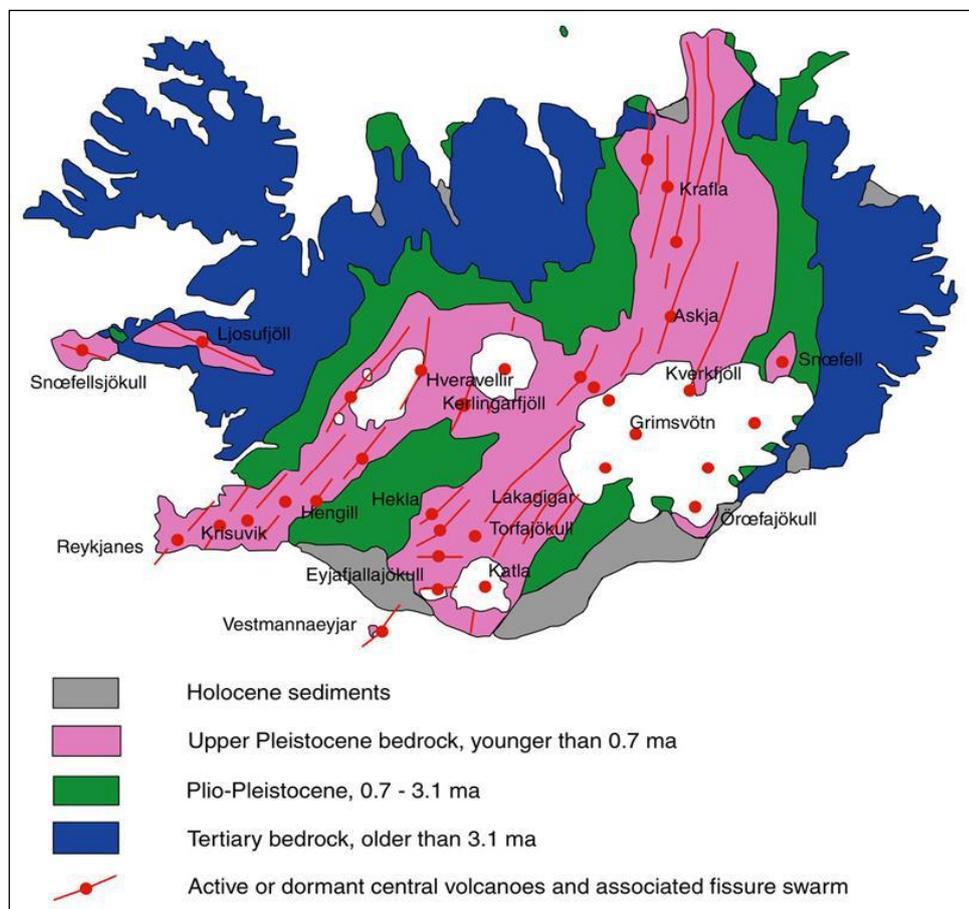
### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Descrever do ponto de vista mineralógico os constituintes da praia de *Vik bay*, Islândia;
- b) Determinar a proveniência do material constituinte da praia de *Vik bay*;
- c) Estudar os mecanismos de transporte e distribuição de material ao longo do arco praial de *Vik bay*;
- d) Realizar um diagnóstico ambiental da área de em torno de *Vik bay*;

### 3. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

#### 3.1. GEOLOGIA REGIONAL

A formação da Islândia envolve um contexto muito peculiar para a Geologia. A evolução geológica deve-se a uma série de eventos intimamente ligados ao interior da Terra, que ocorrem a aproximadamente 50 milhões de anos. Segundo Silva (2009) o interior do país caracteriza-se por maciços predominantemente basálticos bordejados por planícies costeiras holocênicas, localmente recortadas por fiordes, vales estreitos e profundos escavados pela erosão glacial (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa geológico da Islândia com suas divisões segundo as épocas dos eventos magmáticos e alguns edifícios vulcânicos. Fonte: Weisenberger (2009).

O platô da Islândia apresenta uma crosta com espessura variável de 20km a 45 km. Abaixo da geleira *Vatnajökull* a crosta é mais espessa, devido à intensa atividade da pluma

mantélica que diminui consideravelmente em direção a porção norte da zona de *rift* Norte e da Península *Reykjanes* (Weisenberger, 2009).

O embasamento da Islândia é muito homogêneo, 90% é constituído por basalto. As outras áreas, principalmente ao redor dos principais edifícios vulcânicos caracterizam-se por rochas ácidas que foram carreadas para a superfície (Jónsson, 2007).

O empilhamento estratigráfico remonta a 16 Ma, sendo dividido em quatro grupos determinados pelas características de diversos eventos, entre estes, reversões paleomagnéticas, evidências climáticas e produtos de erupções (Weisenberger, 2009).

As unidades estratigráficas são constituídas por: embasamento e rochas Terciárias com idade até 3,1 Ma, rochas Plio-Pleistocênicas (0,7 – 3,1 Ma), rochas do Pleistoceno Superior (por volta de 0,7 Ma) e sedimentos do Holoceno (recentes).

- Terciário

As rochas terciárias são representadas pelo conjunto de platôs recortados por fiordes nas regiões norte, oriental e ocidental da Islândia. Essas rochas cobrem a metade da área total do país. Os depósitos vulcânicos Terciário apresentam pouca variação litológica, apresentando camadas de lava de 5m a 15m de espessura, separadas por depósitos clásticos de origem vulcânica. Mudanças no padrão estratigráfico ocorrem quando os vulcões centrais entram em atividade, enterrando as seqüências anteriores, trazendo rochas ácidas, causando alteração hidrotermal nos depósitos e gerando um mergulho irregular na área (Weisenberger, 2009).

- Plio-Pleistoceno

As rochas desse intervalo cobrem cerca de um quarto da área total da Islândia, ocupando áreas intermediárias entre os depósitos terciários e as zonas neo-vulcânicas do Pleistoceno Superior. O contato com as rochas do Terciário é fixado na base do evento Mammoth, de 3,1 Ma. Nessa seqüência as evidências de alternância climática são observadas em tilitos intercalados com lavas no sudoeste e no nordeste da Islândia. Os depósitos de lava Plio-Pleistocênicas são intercalados por material subglacial como *pillow* lavas e vários tipos de brechas e hialoclastos (Weisenberger, 2009).

- Pleistoceno Superior

Série formada por rochas extrudidas a 0,7 Ma, representando um quarto da área total da Islândia. O contato com a unidade Plio-Pleistoceno é marcado por uma discordância causada por vulcanismo nas zonas de *rift* que estende além da zona fissural, formando um fluxo de lava transgressivo. As litologias dessa unidade podem ser divididas em dois tipos: rochas de fluxos de lava subaérea dos períodos interglaciais e *pillow* lavas subglacial e hialoclastos (Weisenberger, 2009).

- Sedimentos do Holoceno

Esses depósitos são formados por materiais inconsolidados gerados pela ação de processos exógenos em antigos depósitos de rochas (Jónsson, 2007). Os processos exógenos (superficiais) são gerados pela ação conjunta da radiação solar, com a ação de rios, ventos, das correntes marinhas, do próprio clima e das águas de degelo, *jökulhlaup* (Jónsson, 2007). Ao atingir as rochas esses agentes levam a fragmentação desses depósitos, cujos fragmentos são transportados e depositados na região costeira, constituindo as planícies costeiras Holocênicas submetidas a regime de meso-maré (Figura 4). Nesse ambiente de sedimentação verifica-se a ocorrência de pequenos sistemas de drenagem submetidos ocasionalmente a ondas de tempestade. O material é predominantemente constituído por cascalho, areia, silte e argila.

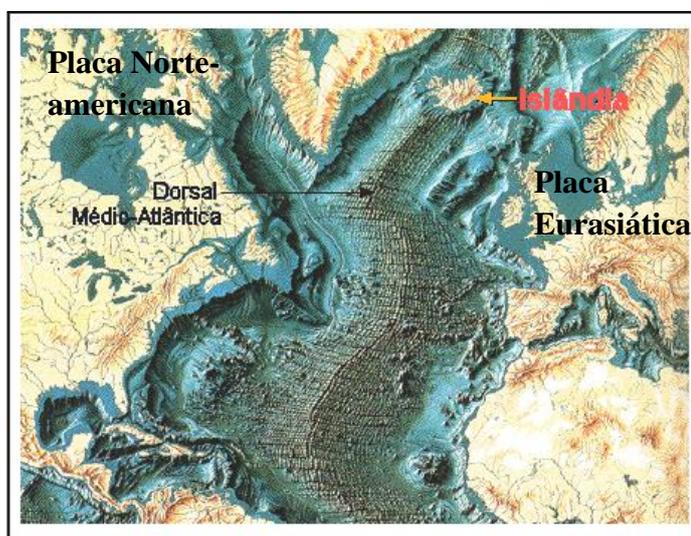


**Figura 4.** Planície costeira no segmento sul da Islândia submetida a regime de meso-maré. Foto: J.W.A. Castro (2009).

### 3.2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO

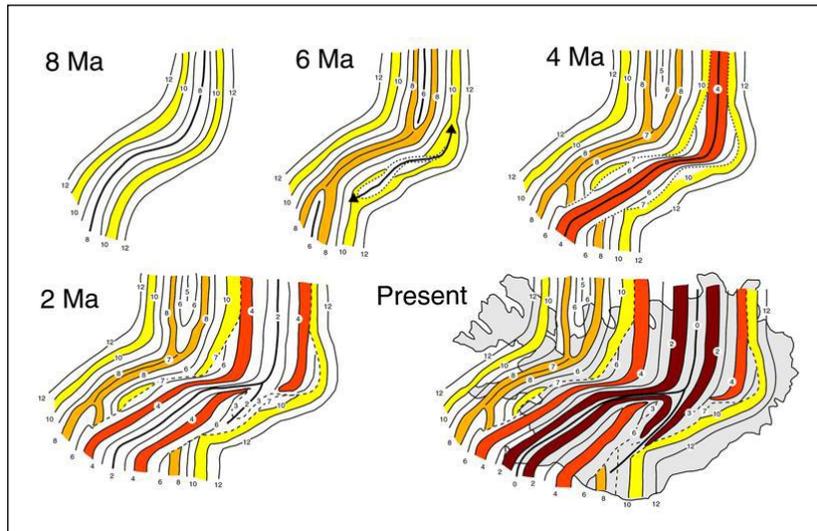
Segundo Weisenberger (2009), a formação da Islândia remonta à conexão existente entre duas componentes da cadeia meso-oceânica, a dorsal Meso Atlântica e a dorsal Groenlândia – Islândia – *Feröe*, associadas a uma pluma mantélica (*Hot spot*).

Segundo Teixeira *et al* (2008) a cadeia meso-oceânica é formada por uma longa zona de *rift* na região central, cercada por uma cadeia de montanhas submersas, constituindo um sistema divergente (Figura 5).



**Figura 5.** Segmento da dorsal Meso Atlântica, com a Islândia em destaque.

Essa movimentação divergente é equilibrada pelo escape de magma, responsável por evitar um vazio entre as placas. A câmara magmática abaixo da fissura é formada pela fusão parcial do manto lherzolítico, por decompressão adiabática, que libera um magma basáltico, em um regime extremamente variado, sob a forma de intrusões acamadadas, enxame de diques ou como *pillow* lavas na superfície oceânica. Esse mecanismo de compensação constrói a crosta oceânica (figura 6).



**Figura 6.** Acresção crustal e evolução do *rift* da Islândia. Fonte: Weisenberger (2009).

Nos últimos 20 Ma essa pluma causou a mudança para leste das zonas de *rift*. Atualmente esta zona está localizada abaixo da geleira de *Vatnajökull*, 240km a sudeste do contato entre as placas divergentes Eurasiática e Norte-americana (Weisenberger, 2009).

O outro mecanismo criador da Islândia foi um *hot spot*, formado por plumas de rocha fundida que se formam anormalmente no manto e ascendem até a superfície, devido à baixa densidade, possibilitando o escape térmico para a atmosfera (Teixeira *et al*, 2008). Ao se aproximar da crosta essa pluma causa um domeamento, que ao se romper libera o magma, construindo o vulcão (Weisenberger, 2009). Segundo Stewart (2007) na Islândia essa pluma já foi mapeada, mostrando que sua extensa base possui 100km de largura e está a 600 km de profundidade, sendo o topo a 20km abaixo da superfície (figura 7).



**Figura 7.** Modelagem da pluma mantélica localizada abaixo da Islândia. Fonte: Stewart (2007).

Sobre um *hot spot* o magma pouco viscoso pode extravasar constantemente, criando camadas de lava uma sobre as outras que cobrem enormes distâncias, construindo um vulcão do tipo escudo. Na Islândia esse processo foi muito expressivo, criando uma ilha de 103.000km<sup>2</sup>.

A Islândia é a única região do mundo onde o volume de magma do *hot spot* foi de tal magnitude que fez aflorar, acima do nível do mar, um platô na dorsal meso-oceânica produzindo uma crosta grossa (Teixeira *et al*, 2008). Os locais mais evidentes desse processo são: *Pingvellir*, *Ódáðahraun* e na península de *Reykjanes*, porção centro sul da Islândia (Figuras 8).



**Figura 8.** Limite da placa Norte Americana (A) e Eurasiática (B) na região do *Pingvellir*, centro sul da Islândia. Foto: J. W. A. Castro (2009).

O último episódio que aumentou a porção emersa do país ocorreu em 1963, quando um vulcão submarino entrou em atividade formando assim uma ilha costeira, a ilha Surtsey, ao sul da Islândia. Durante toda a sua história os processos originários da Islândia se mostraram presentes. Esses eventos são de intensidades e escalas diferentes, variam desde o calor expelido por pequenas fontes termais até os últimos episódios de erupção que ocorreram recentemente. A erupção mais recente foi no vulcão *Eyjafjallajokull* próximo a *Vik bay* em 20 de março a 14 de abril de 2010 (Figura 9).



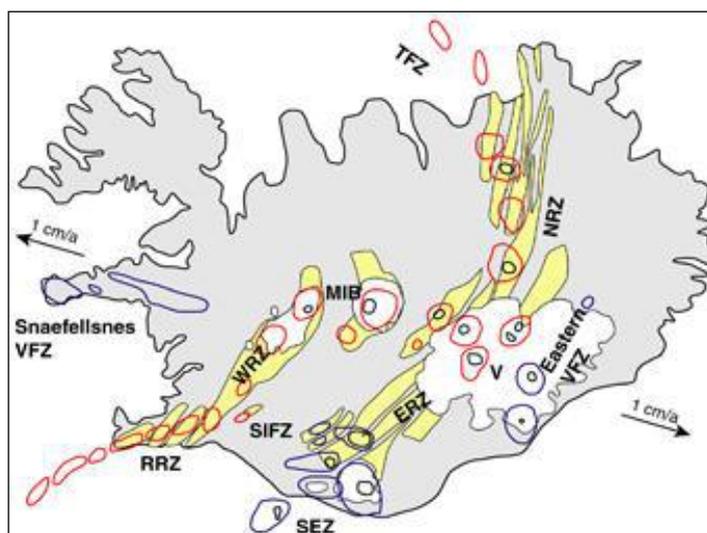
**Figura 9.** Erupção do vulcão *Eyjafjallajokull* próximo a *Vik bay*. Foto: J.W. A. Castro (2009).

### 3.3. VULCANISMO

Um sistema vulcânico é um conjunto espacial de pontos de erupção e enxames de diques, delimitada por feições tectônicas, petrográficas e geoquímicas características (Weisenberger, 2009).

Na Islândia existem aproximadamente 200 vulcões, sendo que 100 estão em atividade, destaca-se *Hekla*, *Katla*, *Laki* e o *Eyjaflajallajokull*. Os vulcões mais expressivos se encontram em regiões denominadas de centros de maior atividade, com atividade geotérmica elevada e ausência de enxame de diques (Weisenberger, 2009).

Segundo Weisenberger (2009) na península *Reykjanes* está localizado o sistema de *rift* da dorsal meso-oceânica, formada por uma grande componente de cisalhamento sinistral regional, e alguns sistemas vulcânicos (figura 10).



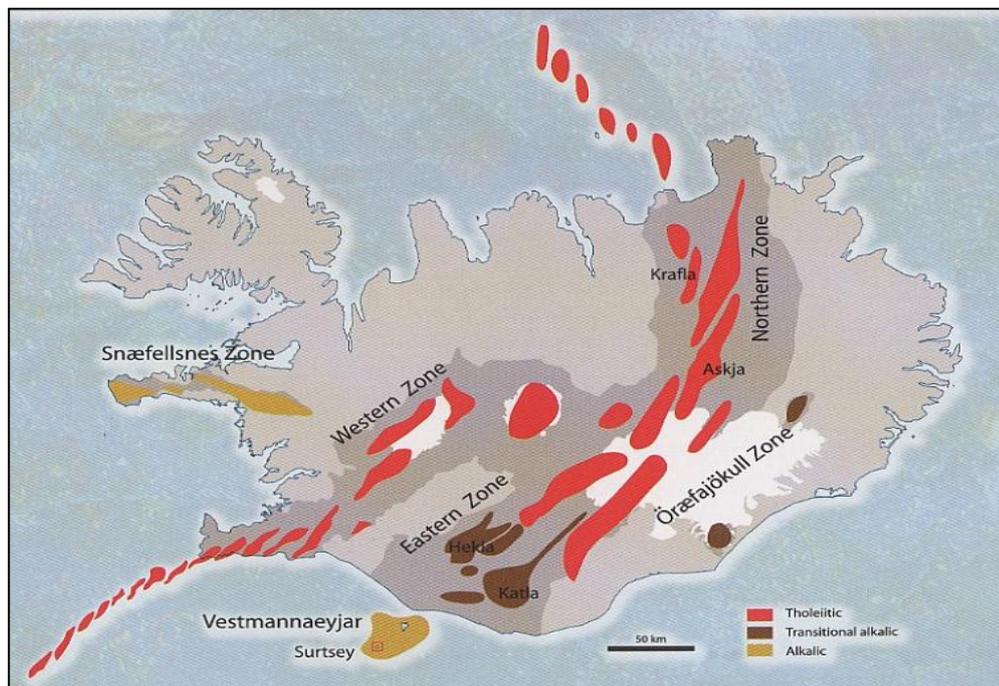
**Figura 10.** Mapa vulcano-tectônico da Islândia. Em amarelo estão os enxames fissurais; Centros e caldeiras vulcânicas são delimitados com linhas vermelhas e pretas, respectivamente. As linhas azuis representam os centros de zonas de flanco vulcânicas (zonas vulcânicas *off-rift*). VFZ: Zona de flanco vulcânica; RRZ: Zona do *Rift Reykjanes*; WRZ: Zona do *Rift* Ocidental; ERZ: Zona do *Rift* Oriental; NRZ: Zona do *Rift* do Norte; MIB: Cinturão Meso-islandês; SIFZ: Zona de Fratura Sul islandesa; TFZ: Zona de Fratura *Tjörnes*; ZEE: Zona Sudeste; V: *Vatnajökull*. Fonte: Weisenberger (2009).

A zona de rift ocidental (WRZ) é presumivelmente uma zona *rift* que será desativada enquanto a zona de *rift* oriental (ERZ) torna-se a região com o *rift* principal (Weisenberger, 2009).

A zona norte do *rift* (NRZ) é a continuação do sistema de fraturas de *rift* a partir da geleira *Vatnajökull*, onde se encontra o centro da pluma mantélica.

A intensa atividade vulcânica na Islândia é representada por uma diversidade de rochas. A diferenciação ocorre de acordo com o tempo de armazenamento do magma na câmara magmática. De acordo com o período de permanência na câmara, a lava pode mudar as suas características. Se for por um longo período, ela pode se tornar mais ácida, ou seja, uma lava viscosa, de menor temperatura e enriquecida em sílica e voláteis. Um componente que também pode afetar a composição da lava é o teor de água na sua composição (Jónsson, 2007).

A Islândia é formada por três séries magmáticas: toleítica, alcalina e transicional (Figura 11).



**Figura 11.** Localização das rochas que compõem as séries toleítica, alcalina e transicional. Fonte: Jónsson (2007).

O magma pode se solidificar de duas maneiras: em superfície ou em subsuperfície. Em profundidade o magma se resfria lentamente sob a forma de complexos acamadados, enxame de diques ou soleiras. Após soerguimento e erosão essas feições ficam visíveis, tornando-se uma componente extraordinária da paisagem, como o enxame de diques com disjunção colunar abaixo (Figura 12).



**Figura 12.** Enxame de diques de basalto com disjunção colunar modelando a paisagem do sudeste da Islândia. Foto: J.W.A. Castro (2009).

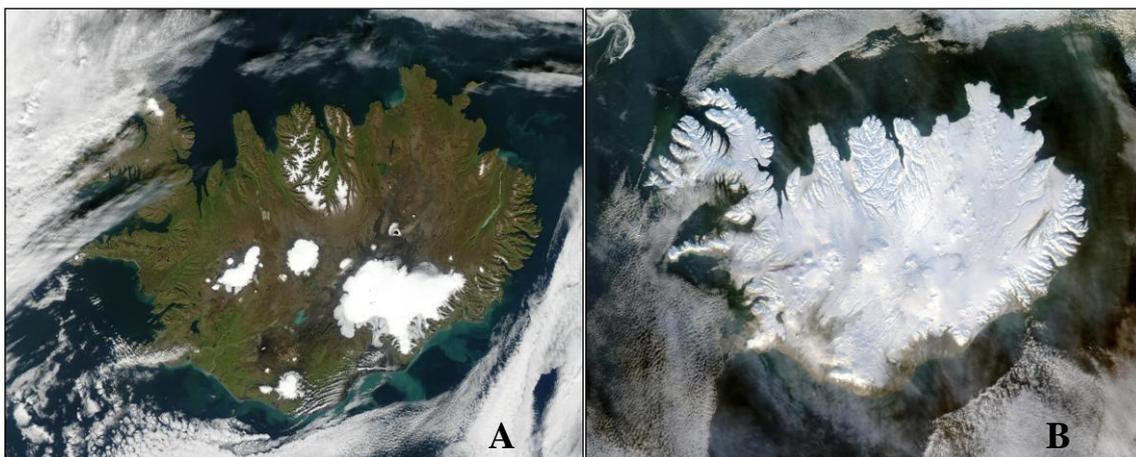
Quando ocorre o extravasamento do magma, o resfriamento brusco da lava incandescente gera feições disformes, típicas de derrames (figura 13).



**Figura 13.** Campo de lava próximo ao vulcão *Eyjaflallajokull*. Foto J.W.A.Castro (2009)

### 3.4. GELEIRAS

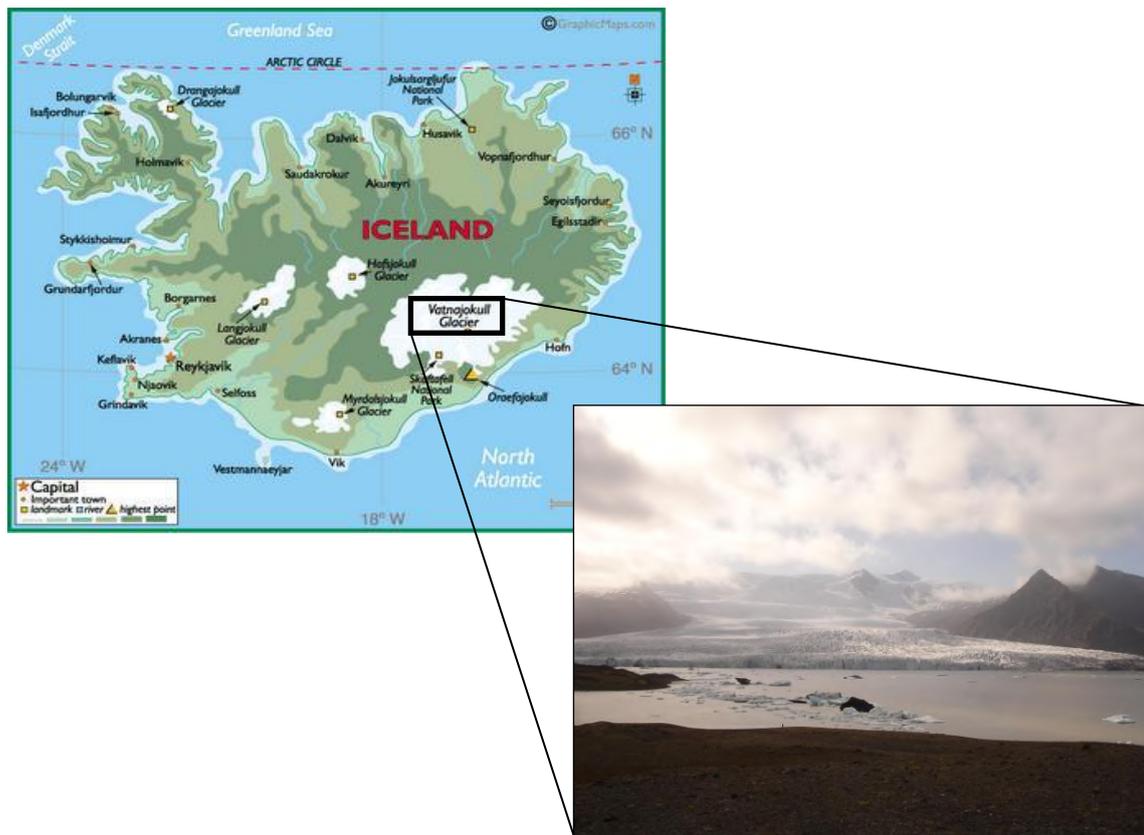
A Islândia atravessa continuamente ciclos frios e quentes. Nos períodos mais frios a temperatura média chega a 5°C abaixo da atual, formando uma extensa capa de gelo sobre a Islândia. Segundo Jónsson (2007) nos ciclos quentes a temperatura é semelhante à atual, onde só permanecem poucos remanescentes das geleiras (figura 14).



**Figura 14.** (A) Imagem de satélite da Islândia no verão. (B) Imagem de satélite da Islândia no inverno. Fonte: NASA

As geleiras apresentam importante papel modelador da paisagem islandesa. Existem dois tipos: as geleiras sazonais e as de caráter permanente (Jónsson, 2007). A camada permanente de gelo cobre cerca de 10% do país, com isso muitos vulcões ativos estão capeados por espessas camadas de gelo (Jónsson, 2007), aumentando o poder de destruição durante uma erupção. Quando a lava entra em contato com gelo ocorre um rápido derretimento das geleiras, formando um fluxo catastrófico conhecido como *jökulhlaups*.

Entre as inúmeras geleiras islandesas está a *Vantnajökull*, a maior geleira da Europa (figura 15).



**Figura 15.** Mapa da Islândia com as geleiras permanentes. Destaque na geleira *Vatnajökull*, a maior do país. Foto: J. W. A. Castro (2009).

A erosão glacial constrói feições escavadas na topografia conhecidas como fiordes. Os fiordes são pequenos golfos, estreitos e profundos, cercados por montanhas altas, gerados pela movimentação de geleiras em direção ao mar. Estão concentrados nas porções norte e nordeste da Islândia, esculpidos em rochas do terciário (Figura 16).

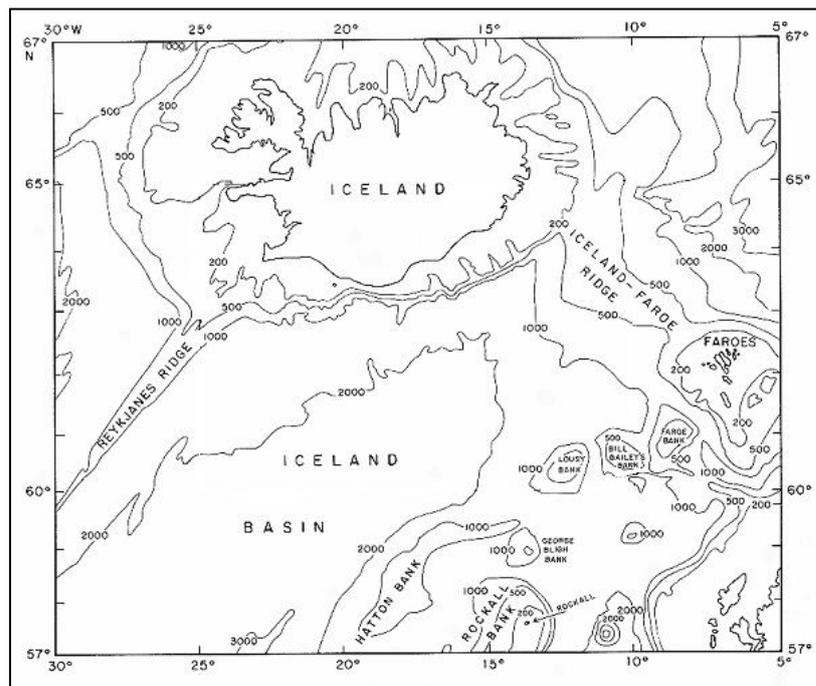


**Figura 16.** Imagem de satélite dos fiordes do oeste da Islândia. Fonte: Google Earth.

### 3.5. GEOLOGIA MARINHA

A Islândia é cercada pelo mar *Irminger* a oeste, o mar da Islândia ao norte, o mar da Noruega a leste e a bacia da Islândia ao sul. Todos esses oceanos são separados por montanhas submarinas que compõe as dorsais *Reykjanes* e Groenlândia-Islândia, a oeste e as cordilheiras *Jan Mayen* e Islândia- *Feröer*, a leste (Malmberg, 2004).

Segundo Malmberg (2004), a área estudada está geograficamente inserida no contexto da bacia da Islândia, porção sul do território islandês. Nessa região as curvas batimétricas chegam a mais de 2.000m de profundidade e são delimitadas pela dorsal *Reykjanes* a noroeste, pela dorsal Islândia-*Feröer* no nordeste, ao norte pela região costeira da Islândia e a sudeste a bacia é delimitada dos diversos bancos submersos que variam de 50m a 1.000m de altura (Figura 17).



**Figura 17.** Mapa da região ao entorno da Islândia, mostrando as curvas batimétricas e as cordilheiras que delimitam a bacia da Islândia. Fonte: Malmberg (2004).

#### 3.5.1. Dorsal *Reykjanes*

Essa cordilheira é um segmento da dorsal meso-atlântica que se estende gradualmente de sudoeste para sul (Jónsson, 2008). A crista da dorsal separa curvas batimétricas de 2.000m

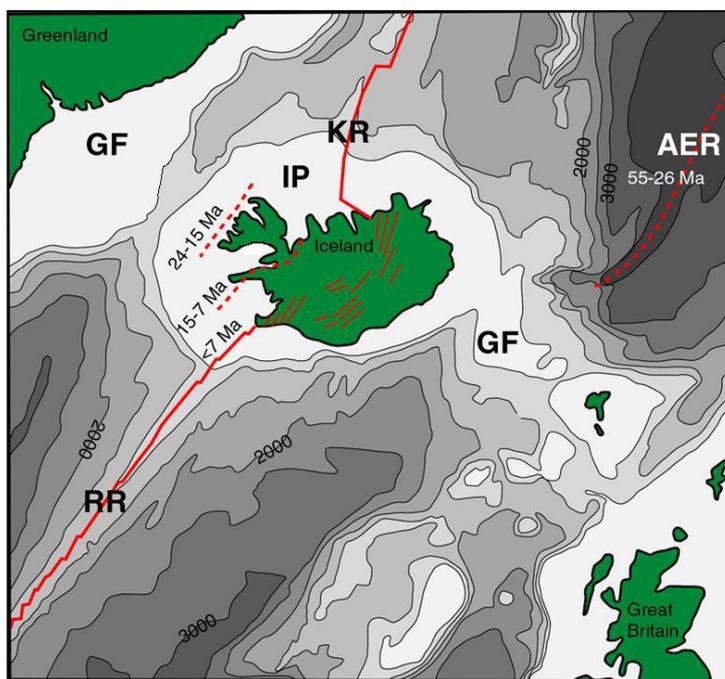
e 3.000m de ambos os lados, constituindo uma barreira natural para a passagem das massas de água oriundas do nordeste do Atlântico e do mar de Irminger, além de correntes profundas proximais a dorsal.

### 3.5.2. Dorsal Islândia – *Feröer*

Essa cordilheira é um segmento da dorsal Groenlândia – Escócia que separa os mares nórdicos e as águas do Atlântico Norte. Sua estrutura abriga batimetrias maiores que 2.000m de ambos os lados, criando uma barreira para as águas quentes do Atlântico Nordeste e para as correntes frias advindas do Ártico (Malmberg, 2004).

### 3.5.3. Plataforma continental

Segundo Jónsson (2008), a plataforma continental da Islândia é bastante heterogênea. Em geral apresenta uma vasta amplitude, se estendendo a mais de 150 km, porém em alguns casos encontra-se recortada por cânions submarinos, que por vezes são prolongamentos de fiordes ou é estreita como ao sul do país, onde possui aproximadamente 20 km de extensão (Figura 18).



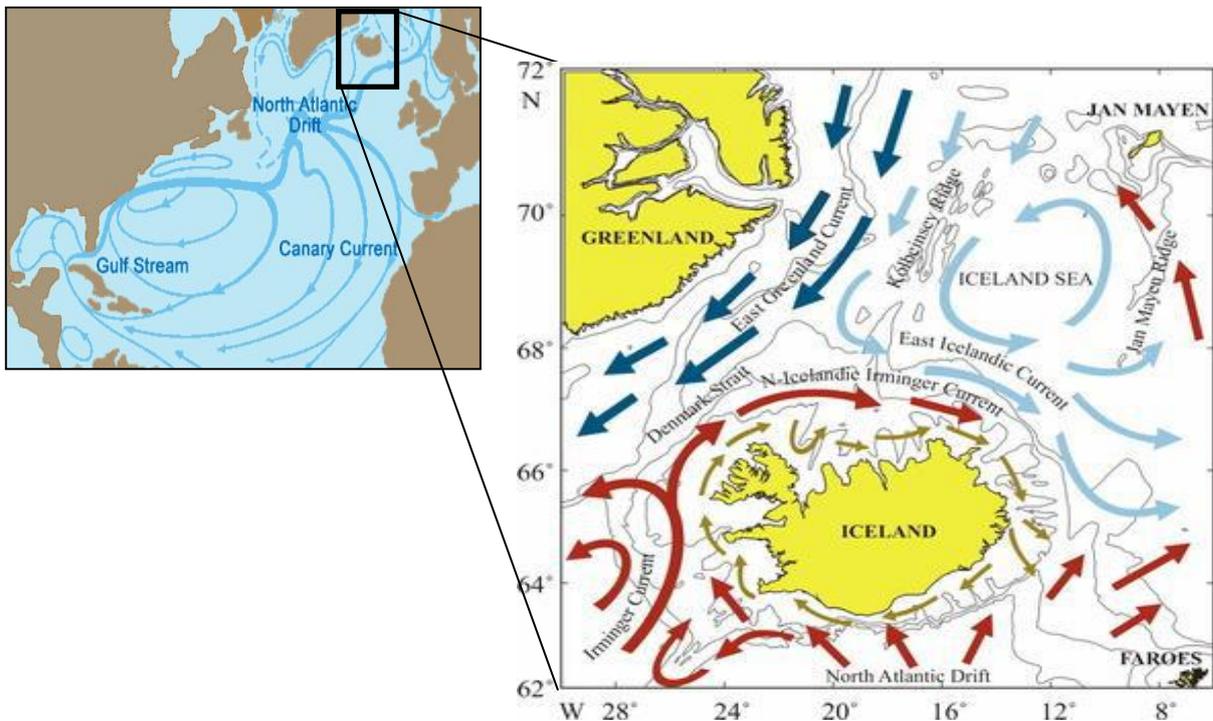
**Figura 18.** Mapa batimétrico da Islândia com curvas a cada 500m. Em vermelho os eixos ativos e inativos de espalhamento da dorsal. RR: Dorsal *Reykjanes*; KR: Dorsal *Kolbeinsey*; AER: Dorsal *Aegir*; IP: Planalto da Islândia; GF: Dorsal Groenlândia - *Feröer*. Fonte: Weisenberger (2009).

### 3.5.4. Talude continental, Sopé e Planície abissal

O talude continental surge a aproximadamente 200m de profundidade. Ao sul da Islândia existe um grande cânion no talude cuja curva batimétrica chega a 1.000m, servindo de passagem para que o material advindo da plataforma seja incorporado ao sopé e a planície abissal. Os detritos acabam sendo depositados na bacia da Islândia (Malmberg, 2004).

### 3.6. OCEANOGRAFIA

A Islândia esta submetida a três grandes sistemas de correntes marítimas: corrente de Irminger (braço da corrente do Atlântico Norte), uma ramificação da corrente do Golfo e a corrente da Groenlândia (Jónsson, 2008). A mistura dessas correntes, frias e quentes, propiciam um clima menos rigoroso (Figura 19).



**Figura 19.** Mapa mostrando as correntes próximas à Islândia. Fonte: Jónsson (2008).

A corrente Irminger apresenta uma velocidade média entre 5-10 cm / s, enquanto que a velocidade de fluxo da corrente da Groenlândia é em média 15 cm/s na superfície. As correntes mais rápidas são as de fundo, principalmente as próximas da dorsal Islândia – *Feröer* e as atuantes no Estreito da Dinamarca. A velocidade média desse tipo de corrente chega a 50 cm/s.

## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. GEOLOGIA COSTEIRA

Segundo Suguio (1992), baía é uma região côncava do litoral marinho delimitada entre dois promontórios. A região de *Vik bay* é um ambiente caracterizado por duas praias, separadas entre si por promontórios constituídos por litologias de origem vulcânica, submetidas a ondas de tempestade em grande parte do ano. Os sedimentos que compõem as praias de *Vik* são provenientes do processo de erosão das falésias e das atividades glaciais que circundam a área, o que leva a formação de extensa planície costeira no segmento leste. A dinâmica dos sedimentos é iniciada pela energia do espriamento das ondas, que promove a seleção hidráulica das partículas conforme densidade dos grãos, produzindo acúmulos de minerais pesados na parte superior da face da praia, correspondente a linha de preamar máxima (Castro, 2010). Neste contexto, *Vik bay*, caracteriza-se por um depósito de *placer* “minerais pesados” com granulometria variando de areia a seixo (Figura 20).



**Figura 20.** Praia na baía de *Vik*, constituída por sedimentos de coloração escura provenientes das rochas adjacentes. Foto: J. W. A. Castro (2009).

Uma característica marcante de praias constituídas por minerais pesados é definida por Castro (2010) como sendo a inibição de processos erosivos em decorrência da exposição da linha de costa a ondas de tempestades do tipo “*swell*”. A concentração de minerais pesados em determinado trecho de praia inibe o processo de recuo de linha de costa em função da rápida precipitação dos sedimentos no meio aquoso induzido por ondas e correntes.

Segundo Pereira (2008) um sistema praial sofre modificações periódicas na morfologia do perfil de praia. Essas transformações são geradas pela alternância da energia das ondas observadas em regimes de tempo bom, construindo praias, e de tempestade, erosão das mesmas. Em *Vik bay* essa dinâmica morfológica não é observada no segmento oeste conforme figura 20. Por se tratar de um ambiente delimitado por falésias de origem vulcânica a ação das ondas é inibida, tanto pela presença de minerais pesados de padrão granulométrico variando de areia a seixo quanto pela ocorrência de escarpas rochosas (Figura 21).



**Figura 21.** Praia de *Vik* delimitado por falésias de origem vulcânica inibindo o processo de recuo de linha de praia. Foto: J.W.A.Castro (2009)

Por ser uma praia formada principalmente por minerais pesados, ao sofrer o ataque das ondas, esse material se deposita rapidamente, com isso não ocorre tempo hábil para a efetiva erosão e transporte dos sedimentos (Castro, 2010). Contudo os eventos erosivos são responsáveis pela desagregação de fragmentos das falésias costeiras que serviram de substrato para o desenvolvimento geomorfológico do sistema praial.

No segmento leste de *Vik bay* verifica-se a ocorrência de uma praia com características morfodinâmicas predominantemente dissipativa a intermediária, limitada por falésia viva protegida parcialmente por um depósito glacial “*till*” (Figura 22). A granulometria da praia propriamente dita caracteriza-se por material arenoso predominantemente de médio a grosso.



**Figura 22.** Aspectos geológicos e morfodinâmico do segmento leste da praia de *Vik bay*.  
Foto: J. W. A. Castro (2009).

#### 4.2. OCEANOGRAFIA

Na região de *Vik bay* atuam três diferentes sistemas de massas de água. Em uma coluna vertical existem águas quentes da corrente do Atlântico Norte que ocupam o nível mais alto, seguida por um fluxo intermediário vindo do mar de Labrador e em seguida as águas frias da corrente Islândia - Escócia. Segundo Malmberg (2004) as correntes Labrador e Islândia- Escócia superam as barreiras naturais em sua trajetória, a dorsal meso-atlântica e a cordilheira Islândia – Escócia, respectivamente, despejando sua águas na bacia Islândia.

O regime de maré na região de *Vik bay* é predominante semi-diurno com intervalos de enchentes de 12 horas e 25 minutos. O clima de ondas é proveniente da direção sul, girando no sentido horário ao redor do país (Jónsson, 2008). Na área de estudo a atuação das marés e ondas não são marcantes quando comparadas às demais regiões costeiras da Islândia. Tal fato deve-se a influencia do relevo submarino frontal à area de estudo que atenua a energia cinética e potencial das ondas.

Em *Vik bay* verifica-se duas situações distintas em relação ao clima de ondas local. No segmento oeste observa-se que os promontórios constituídos por rochas vulcânicas basálticas atenuam a energia das ondas em função do processo de reflexão. No segmento leste verifica-se situação oposta. Por se tratar de uma planície costeira de retaguarda, observam-se perfis

erosivos típicos de ondas de *swell*, com a formação de escarpas de praia e remoção de material para a antepraia conforme figura 20.

Localmente a taxa de transporte de sedimento longitudinal é formada em função de variáveis hidrodinâmicas e sedimentológicas, analisadas por intermédio de modelos matemáticos. Esse estudo é realizado através da análise de parâmetros estatísticos, entre estes, estudo do clima de ondas e diâmetro mediano ( $d_{50}$ ) do grão. Conforme levantamento bibliográfico não foi possível estimar o transporte de sedimento induzido por correntes longitudinais em *Vik bay*.

## 5. MATERIAL E MÉTODO

O desenvolvimento da ciência requer certa padronização dos procedimentos metodológicos. Isso é necessário para que seja criada uma base comparativa através de parâmetros pré-estabelecidos, que será exaustivamente utilizada para a formulação de novas teorias de acordo com o campo de estudo.

### 5.1. ANÁLISE PETROGRÁFICA

Foram coletadas quatro amostras de rochas na região de *Vik bay* – Islândia pelo Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro para estudo petrográfico com o objetivo de identificar a mineralogia e estimar a proveniência dos sedimentos constituintes da praia de *Vik bay*. As lâminas delgadas foram confeccionadas no laboratório de Laminação do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional – UFRJ. Para o estudo foi usado o microscópio petrográfico Carl Zeiss® Axioskop 40, onde foram identificadas a mineralogia e as texturas das rochas (Figura 23).



**Figura 23.** Amostras de rochas coletadas na área de *Vik bay*, Islândia. A: *Pingvellir* – Placa Européia B: *Vik Beach*; C: *Gullfoss*. D: *Skaftafell*.

## 5.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise sedimentológica iniciou com a coleta de amostras, realizada em julho de 2009 pelo Prof. Dr. João Wagner Alencar Castro coordenador do Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - LAGECOST do Museu Nacional / UFRJ. Foram coletas duas amostras de material inconsolidado, com aproximadamente 700g cada, ambas no ambiente de praia dos segmentos leste e oeste de *Vik bay*.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia e Meio Ambiente - LAGECOST / Museu Nacional – UFRJ de acordo com os seguintes procedimentos:

- Secagem da amostra em estufa 80°C durante 4 horas.
- Pesagem da amostra seca em balança digital de precisão, da marca Marte AS5500C.

- Na separação granulométrica utilizou-se um agitador Haver & Boecker constituídos por um jogo de peneiras com malhas entre 5,00mm e 0,062mm. Após o processamento as frações retidas em cada peneira foram pesadas individualmente.
- Os dados obtidos através da pesagem foram analisados pelo programa SEDIGRAPH 5100 para determinação das medidas de tendência central, como: diâmetro mediano do grão ( $d_{50}$ ), desvio padrão, assimetria e curtose.

Segundo Suguio (1973) o diâmetro mediano é o valor da granulação no ponto correspondente a 50 % da distribuição sobre o gráfico de frequências acumulativas, e define a granulometria que separa a amostra analisada em duas metades iguais em peso. Geologicamente reflete a média geral da granulometria referente ao tamanho dos sedimentos, afetada pela fonte de suprimento do material, pelo processo de deposição e pela velocidade da corrente.

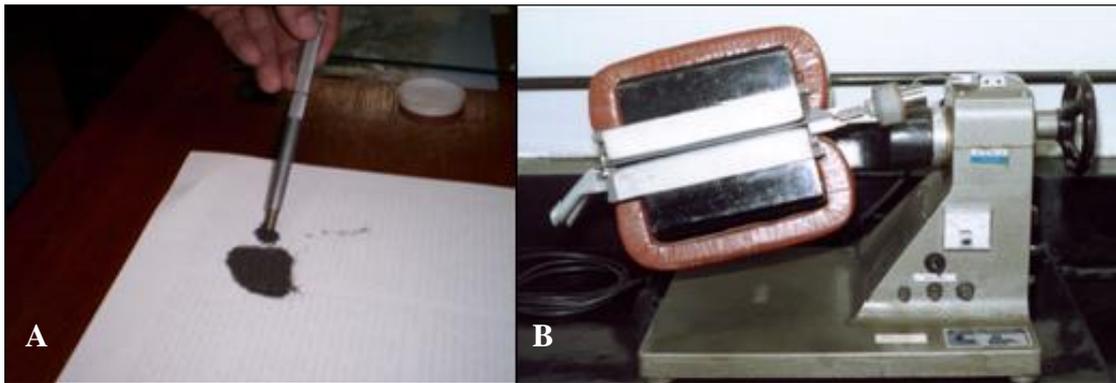
### 5.3. ANÁLISE DE MINERAIS PESADOS

O estudo dos minerais pesados foi realizado no laboratório PETRO-MIN: Grupo de Estudos em Petrologia e Mineralogia - Museu Nacional / UFRJ com a colaboração do Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila, seguindo as orientações contidas no manual “*O Estudo dos Concentrados de Minerais Pesados em Laboratório*”, organizado pelo Prof. Ronaldo Mello Pereira, pertencente ao laboratório.

O estudo de minerais pesados foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- Bateamento da amostra: Esse procedimento fez com que os minerais mais densos ficassem retidos no fundo da bateia. A água contida na bateia carregou os minerais menos densos. O material retido no fundo foi levado para a estufa para sua completa secagem.
- As magnetitas misturadas ao concentrado foram retiradas através de um imã de mão (Figura 23).
- A separação eletromagnética foi realizada através de um separador Frantz conforme seguintes amperagens 0,3A; 0,4A; 0,5A; 0,6A; 0,8A; 1,0A; 1,5A; e 1,7A. O material foi lançado no separador Frantz, escolhendo a amperagem 0,3A

para início do processamento da amostra. Após separação dos minerais com maior afinidade com a amperagem 0,3A foram colocados em recipientes para seu devido armazenamento e posterior análise. Os minerais não atraídos nessa amperagem foram devolvidos ao separador até a conclusão de todo o processo. O material que restou após a passagem pela amperagem máxima, foi colocado em um recipiente e identificado como o grupo dos minerais não magnéticos (Figura 24).



**Figura 24.** A: Captura da magnetita através de imã de mão. B: separador magnético *Frantz*.

- Separação dos minerais por densidade: As frações máxima e a não atraída foram agrupadas com o objetivo de separar os minerais leves dos pesados. Nessa tarefa utilizou-se o método de separação densimétrica. Os procedimentos adotados nessa separação foram os seguintes:
  - Em um suporte de ferro de 0,74m foram colocados dois funis de vidro espaçados em 0,24m. Em seguida foram colocadas as concentrações correspondentes às frações 1,7A e de minerais não atraídos e lançou-se bromofórmio (densidade 2,9). No funil inferior foi colocado um filtro de papel para reter todos os minerais pesados com densidade superior a  $2,9 \text{ g/cm}^3$ . Em seguida, o material separado, secado e armazenado em um reservatório para posterior estudo (Figura 25).



**Figura 25.** Materiais utilizados para separação densimétrica.

- Análise em lupa binocular (estereomicroscópio): O material de cada recipiente foi observado através do uso da lupa binocular. Os diversos grãos foram separados de acordo com as suas propriedades físicas (cor, brilho, tipo de alteração e clivagem). Em seguida foram interpretados de acordo com a amperagem a qual o material for retido, estabelecendo uma assembléia mineralógica prévia (Figura 26).

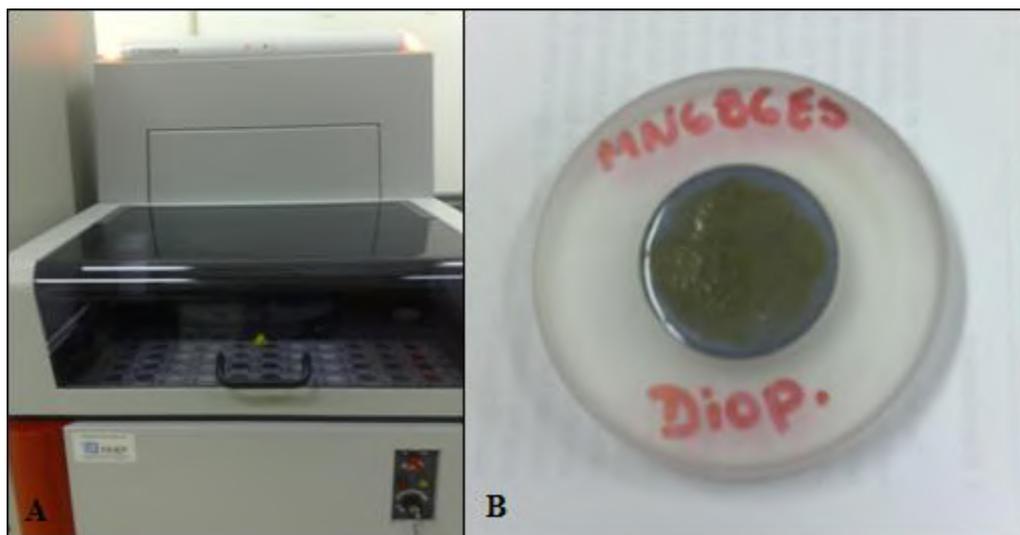


**Figura 26.** Lupa binocular utilizada durante a fase de separação mineralógica.

Após a concretização das fases anteriores foram realizados procedimentos complementares para aferição da assembléia mineralógica, sendo: difratometria de raio-X e análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV). Ambos realizados no Laboratório de

Caracterização Tecnológica de Minérios e Minerais do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) / UFRJ com apoio do Dr. Reiner Neumann e equipe.

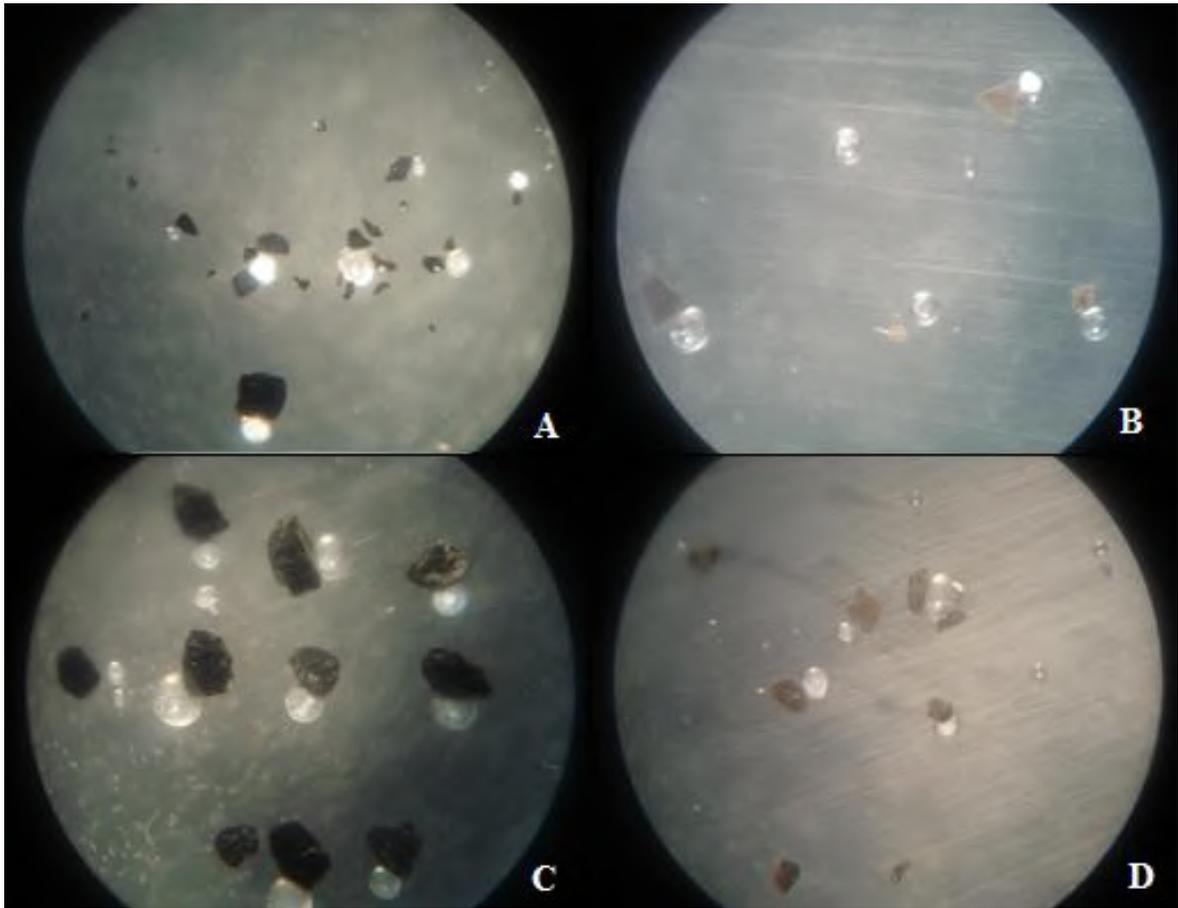
Para realizar o estudo no difratograma D4 Endeavor foi necessário pulverizar a amostra. Em seguida o material foi depositado em um suporte de background zero Bruker AXX e levado para análise no difratograma (Figuras 27).



**Figura 27.** A: Difratograma de raio-X D4 Endeavor. B: suporte de background zero.

A amostra foi bombardeada por  $\text{Co K } \alpha$  e os dados foram processados pelo programa Difrac Plus XRD Commander, resultando na confecção de gráficos cujos picos correspondem a determinado arranjo cristalográfico. A interpretação dos resultados foi realizada com o apoio do Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila (PETRO-MIN / Museu Nacional / UFRJ).

Para a análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV) QUANTA 400 foram confeccionados quatro briquetes pelo Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional / UFRJ. O material selecionado para a confecção dos briquetes foi individualizado a partir do resto da amostra por conter características distintas, sendo denominado primariamente através das propriedades físicas observadas (Figura 28).



**Figura 28.** Briquetes confeccionados para análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

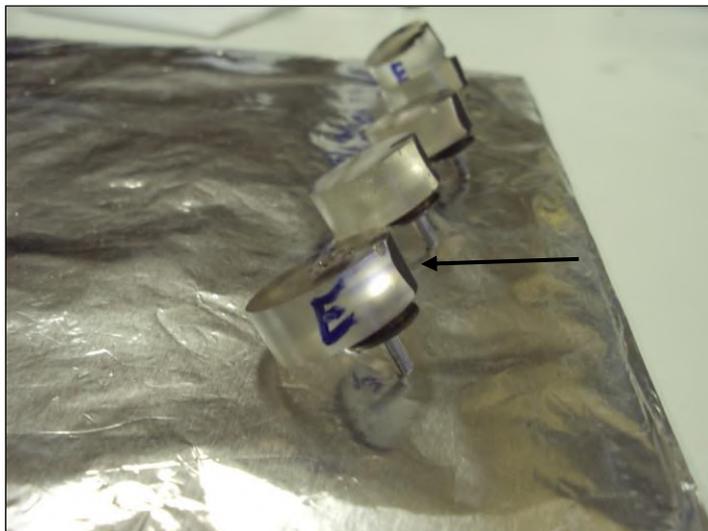
A preparação dos briquetes antes da análise no microscópio eletrônico de varredura (MEV) constou das seguintes etapas:

- Limpeza e secagem dos briquetes;
- Semi-metalização com objetivo de evitar que os grãos não condutivos acumulassem campos elétricos estáticos devido à irradiação elétrica durante a produção da imagem e para melhorar o contraste. Nessa tarefa foi utilizado o equipamento *Spretter Coater BAL-TEC SCD 005* (Figura 29).



**Figura 29.** Semi metalizador Sprenger Coater BAL-TEC SCD 005

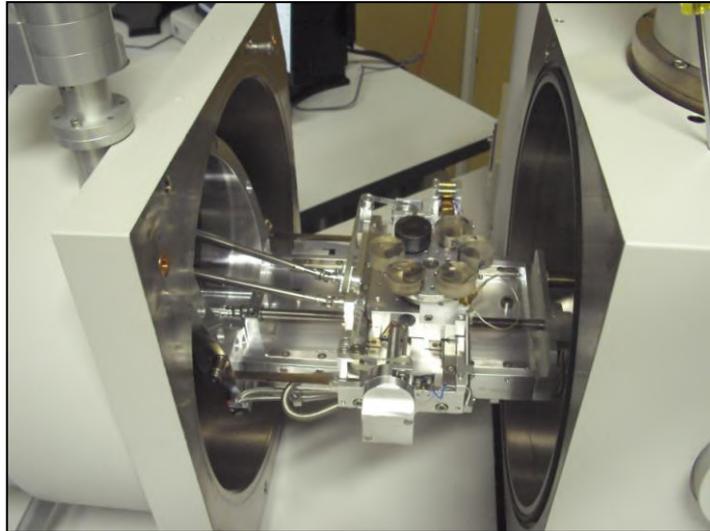
- Em seguida os briquetes foram colocados em um suporte onde foi realizada a conexão do suporte com a superfície do briquete através do uso de cimento carbono condutivo LEIT-C (Figura 30).



**Figura 30.** Briquetes sobre os suportes, a seta indica a localização do cimento condutivo.

Após a preparação dos briquetes, as amostras foram inseridas na câmara de análise do microscópio eletrônico de varredura. O aparelho confeccionou imagens de alta resolução da

superfície do grão e dados da sua composição química, colaborando para a descrição dos constituintes minerais de *Vik bay* (Figura 31).



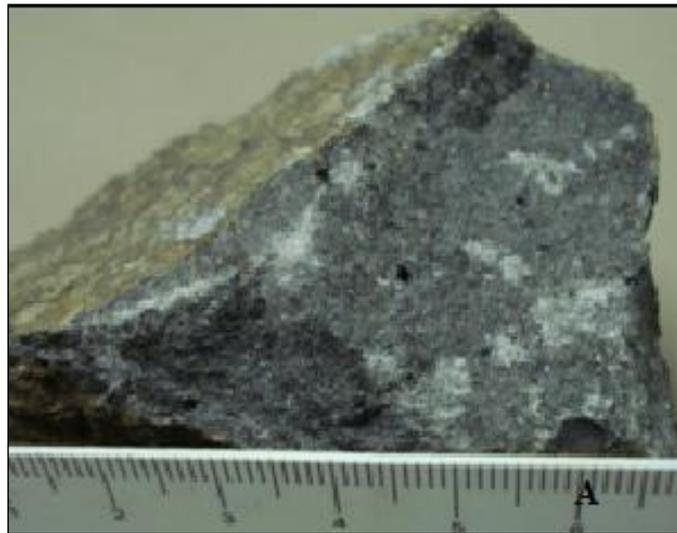
**Figura 31.** Briquetes inseridos na câmara interna do microscópio eletrônico de varredura.



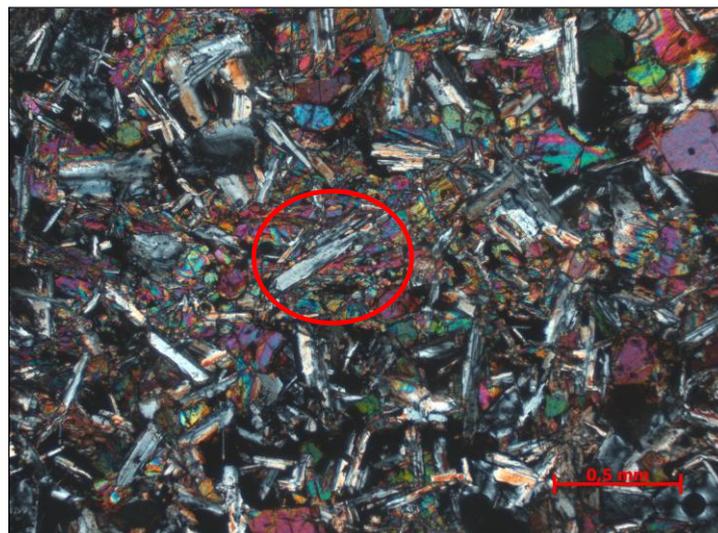
Todas as lâminas estudadas apresentam cor de interferência alterada devido à espessura da própria lâmina. Fato que dificulta a identificação dos piroxênios nas lâminas.

#### 6.1.1. *Pingvellir*

A rocha coletada em *Pingvellir*, fragmento da placa Européia, apresenta microscopicamente cristais de granulação fina, representados por plagioclásio, piroxênios e olivina, apresentando texturas intersetal, subofítica e ofítica (Figuras 33 e 34).

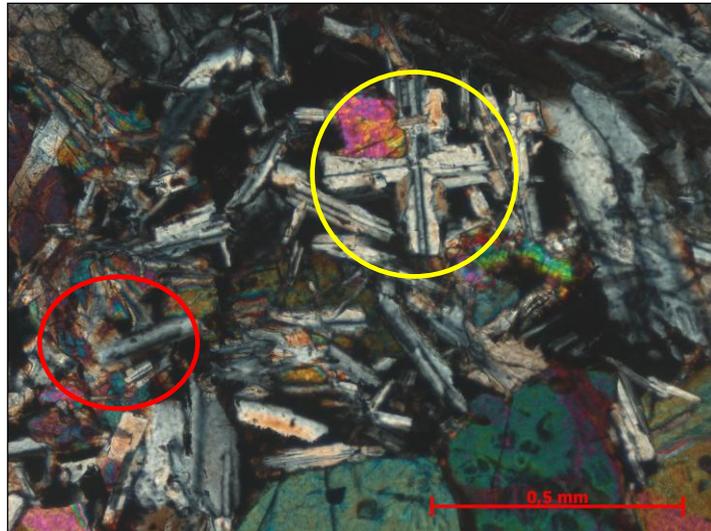


**Figura 33.** Amostra coletada em *Pingvellir*, Islândia.



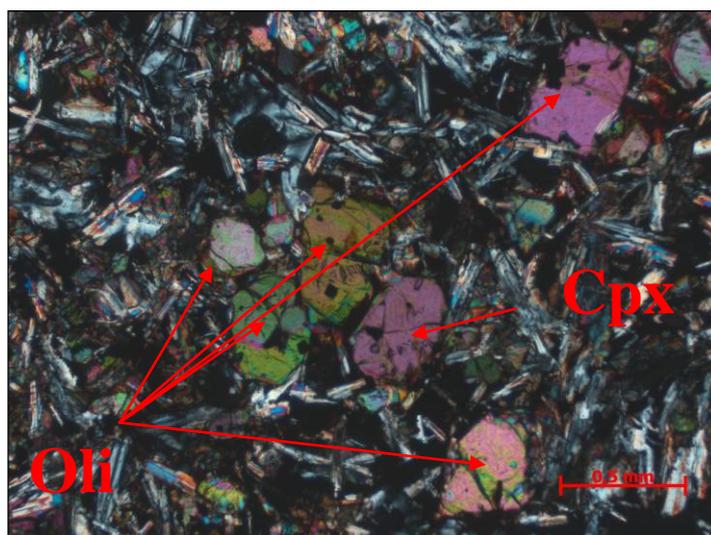
**Figura 34.** Massa formada por cristais xenomórficos de piroxênio configurando a textura ofítica, englobando totalmente o plagioclásio (destaque em vermelho). Observar os interstícios preenchidos por vidro vulcânico, textura intersetal.

O plagioclásio é o mineral mais abundante na rocha, observado sob a forma de ripas ou de fenocristais cuja forma varia de idiomórfica a xenomórfica, chegando a 0,5mm. O principal representante é a labradorita. Localizadamente se observa estrutura do tipo roseta, além de texturas típicas da interação desse mineral com o piroxênio (Figura 35).



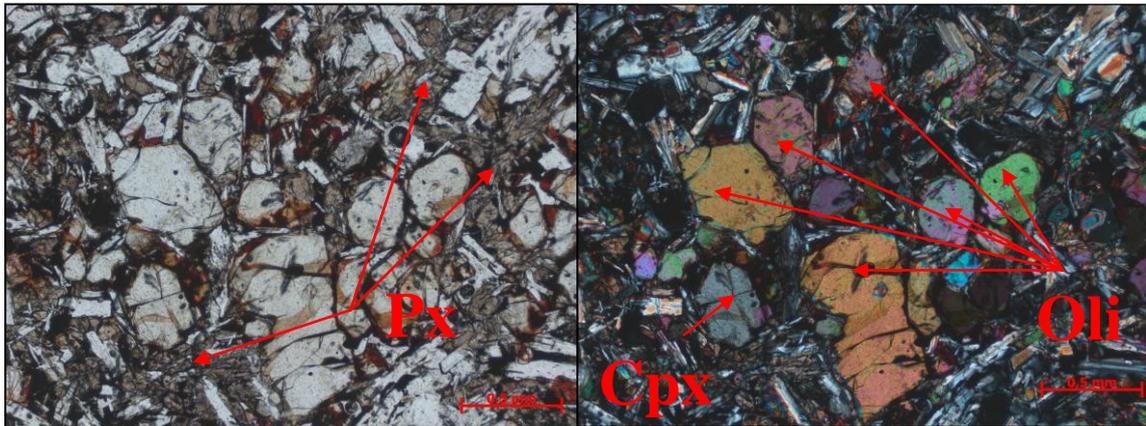
**Figura 35.** Textura subofítica, englobamento parcial do plagioclásio (destaque em vermelho) e estrutura em roseta (destaque em amarelo).

Os fenocristais de olivina apresentam relevo e birrefringência alta, apresentam hábito granular e são hipiomórficos a xenomórficos. O tamanho dos cristais varia entre 0,2mm e 0,8mm (Figura 36).



**Figura 36.** Fenocristais olivina (Oli) e clinopiroxênio (Cpx) com inclusões de opacos.

Os piroxênios são representados por clinopiroxênio e ortopiroxênio, hipidiomórfico a xenomórfico, variando de 0,2mm a 0,6mm. A forma mais abundante é uma massa disforme de piroxênio que pode ser interpretada como a reabsorção do mineral formado a altas temperaturas, sendo rearranjada em seguida, ocupando os interstícios entre os fenocristais (Figura 37)



**Figura 37.** Piroxênios (Px) xenomórficos agregados constituindo uma massa de preenchimento dos interstícios entre os fenocristais.

A matriz vítrea esta em processo de transformação que pode ser observado pela presença de manchas esbranquiçadas na própria rocha, conforme figura 32.

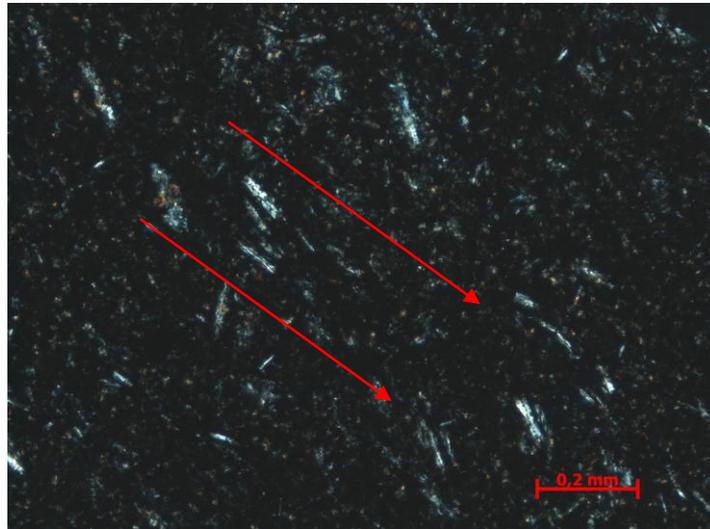
#### 6.1.2. *Vik Beach*

A rocha coletada na área de estudo é, macroscopicamente, maciça (Figura 38).



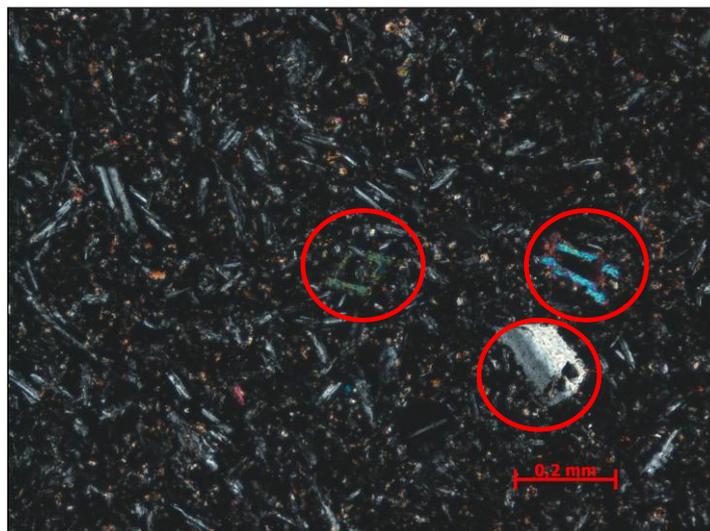
**Figura 38.** Rocha coletada na escarpa praial de *Vik bay*.

No ponto de vista microscópico apresenta textura hialofilítica, representada por cristais ripidiformes de plagioclásio com disposição paralela imersos em matriz vítrea. Localmente observa-se estrutura fluidal, ligada a movimentação do magma (Figura 39).



**Figura 39.** Orientação dos cristalitos de plagioclásio indicando o fluxo magmático.

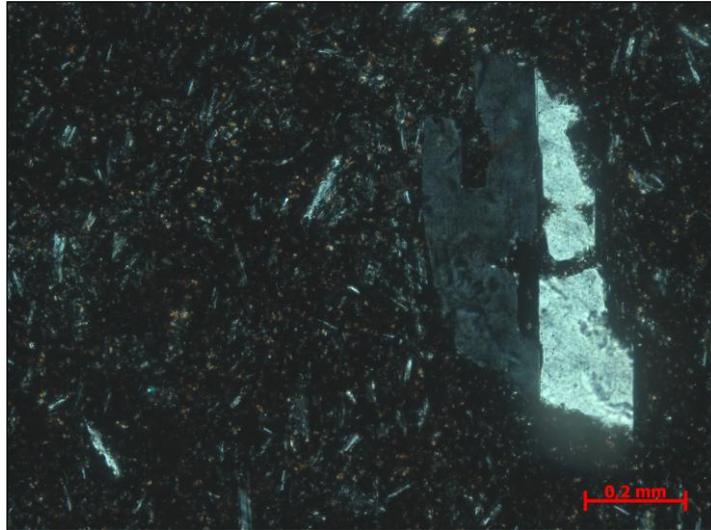
Na rocha foram encontrados cristais de plagioclásio, piroxênio e olivina, sendo este de difícil observação devido ao tamanho diminuto e a forma corroída. Todos os fenocristais variam de hipidiomórficos a xenomórficos e apresentavam feições corrosivas a embainhadas (Figura 40).



**Figura 40.** Destaque para as feições de embainhamento em piroxênio e plagioclásio.

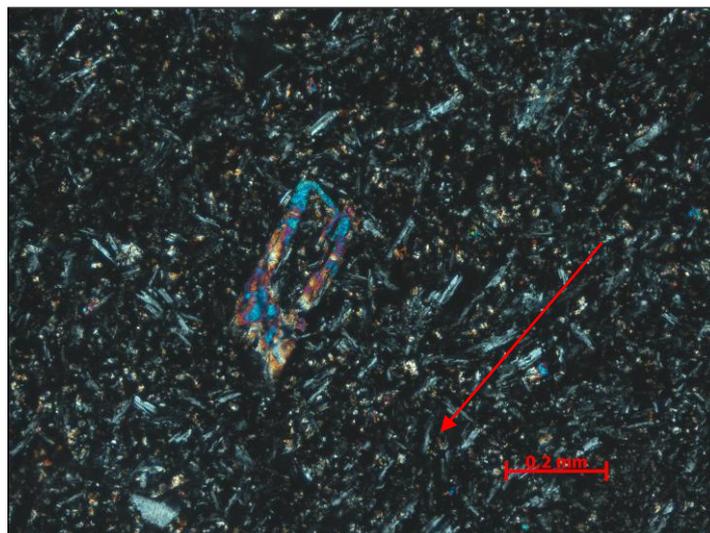
O plagioclásio é observado sob a forma de cristalitos e de fenocristais com até 0,9mm. Os cristalitos apresentam poucas características do plagioclásio, porém os fenocristais

apresentam-se geminados, com as bordas corroídas e feições de embainhamento, estrutura típica de dissolução ou absorção (Figura 41).



**Figura 41.** Fenocristal de plagioclásio corroído e embainhado apresentando geminação carlsbad.

Os piroxênios se distinguem em clinopiroxênio e ortopiroxênio, ambos com poucos exemplares na rocha, que se encontram parcialmente destruídos devido ao processo de absorção ocasionado pelo resfriamento rápido do magma (Figura 42).



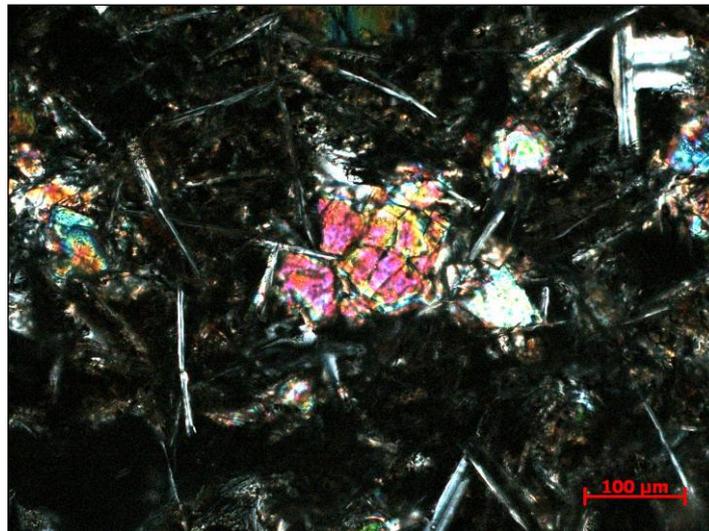
**Figura 42.** Fenocristal de ortopiroxênio com feição de embainhamento. Destaque para a orientação dos cristalitos de plagioclásio.

### 6.1.3. *Gullfoss*

A rocha coletada na região de Gullfoss é afanítica porfirítica, com fenocristais de plagioclásio, olivina e piroxênio, imersos em uma matriz vítrea, localmente configurando as texturas intergranular e subofítica (Figuras 43 e 44).



**Figura 43.** Rocha coletada na região de *Gullfoss*, Islândia.

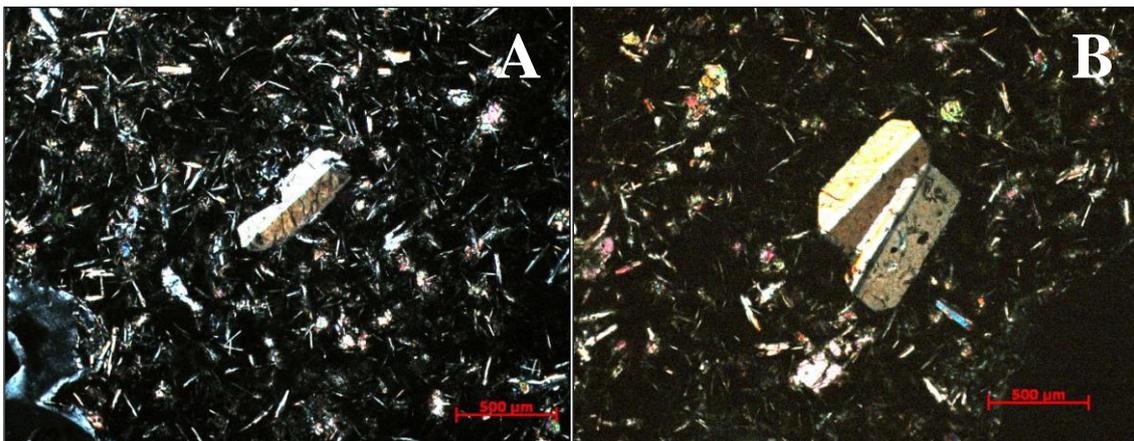


**Figura 44.** Textura subofítica, inclusão parcial de plagioclásio por clinopiroxênio, representando cristalização simultânea.

O plagioclásio apresenta geminação carlsbad e polissintética, sendo representado por bytownita. Os micrólitos de plagioclásio são finas acículas, apresentando textura subofítica, glomeroporfirítica e roseta. Os fenocristais de plagioclásio variam de 0,5 mm a 1,0mm, são cristais tabulares, idiomórficos a hipidiomórficos e alguns cristais estão geminados. Localizadamente se observa uma massa de plagioclásio xenomórfica, indicando uma possível reabsorção do cristal (Figuras 45 e 46).

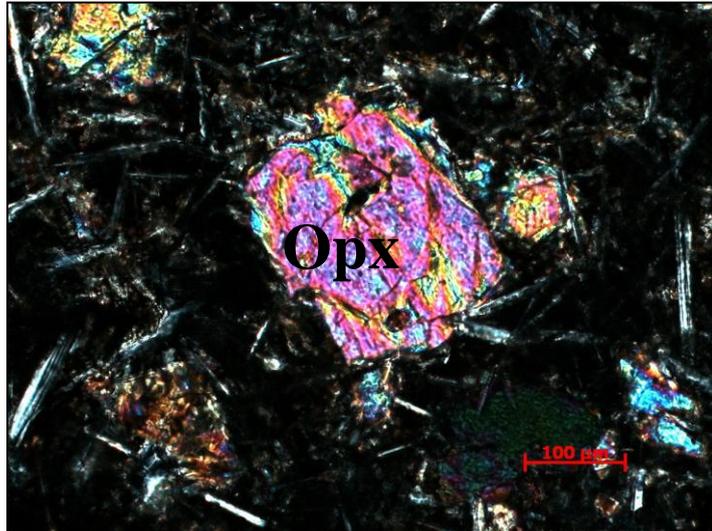


**Figura 45.** Plagioclásio exibindo geminação polissintética. Destaque para a estrutura em roseta em A, crescimento de micrólitos de plagioclásio nucleados a partir de um ponto central único, e para a textura glomeroporfirítica em B, aglomerado de fenocristais de plagioclásio.



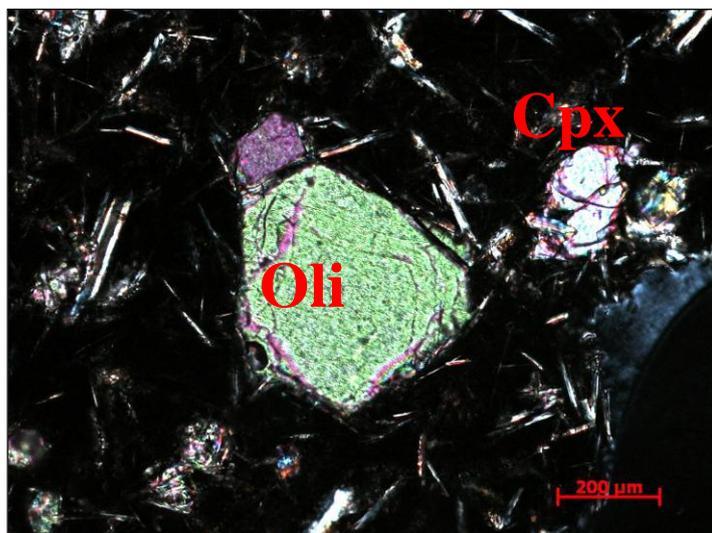
**Figura 46.** Plagioclásio encontrado em três formas distintas: micrólitos, hipidiomórfico com vestígio de corrosão e idiomórfico. Em ambas as imagens a geminação dos fenocristais é carlsbad. Observar a textura intergranular bem representada na figura A, onde surge um fenocristal de plagioclásio intersticial a rede formada pelas ripas de plagioclásio.

Os micrólitos de piroxênio possuem birrefringência alta e não se observa a clivagem. O ortopiroxênio é pouco observado, mas exibe cristal de até 0,5 mm, hipidiomórfico, sendo o clinopiroxênio xenomórfico dominante na rocha (Figura 47).



**Figura 47.** Fenocristal de ortopiroxênio (Opx) encontrado na rocha.

A olivina é encontrada na rocha desde cristalitos a fenocristal com até 0,8 mm, apresenta relevo alto, ausência de clivagem e cristais idiomórficos a hipidiomórficos (Figura 48).



**Figura 48.** Olivina (Oli) imersa na matriz vítrea circundada por micrólitos de plagioclásio e por cristal de clinopiroxênio (Cpx). Imagem apresentando a maior parte dos interstícios preenchidos por vidro vulcânico.

A matriz esta sofrendo um processo de alteração, se transformando em argila, processo que pode ser observado na rocha em si, através da observação de pequenas manchas esbranquiçadas, porém pouco observado em lâmina.

Uma feição marcante encontrada na lâmina é a presença de vesículas esféricas, milimétricas pressupondo feições típicas de escape de gás. Nas bordas dessas vesículas existe uma concentração de uma massa disforme de plagioclásio indicando uma possível reabsorção causada pela reação do gás com o plagioclásio. Devido à presença de poucos exemplares com borda de reação pode-se afirmar que ocorreu um resfriamento mais lento, possivelmente em sub-superfície.

#### 6.1.4. *Skaftafell*

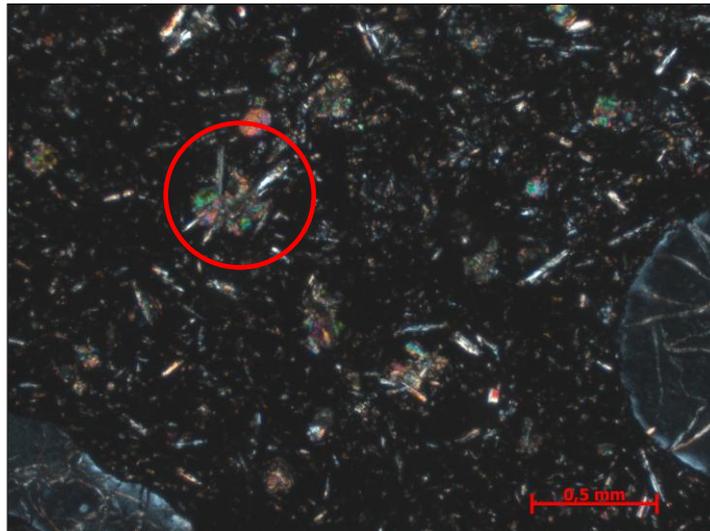
O estudo petrográfico na rocha coletada em *Skaftafell* apresentou uma rocha densa, com textura afanítica porfirítica, observada pela presença de fenocristais de plagioclásio imersos em uma matriz vítrea com micrólitos de piroxênio, olivina e plagioclásio (Figura 49).



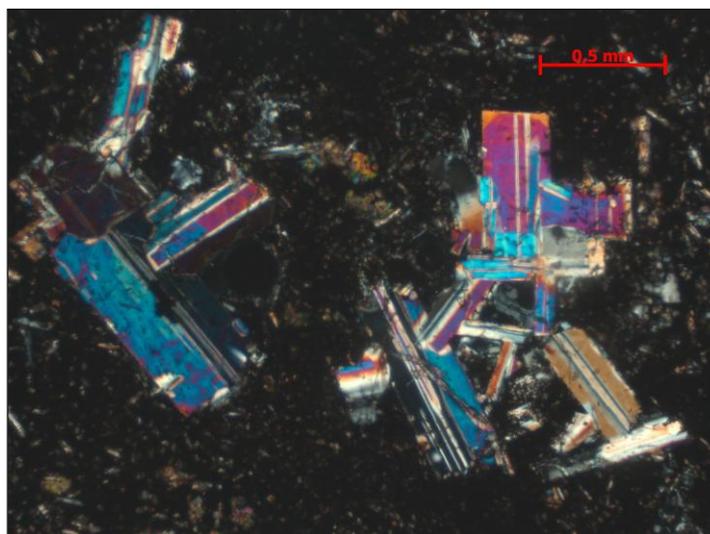
**Figura 49.** Rocha coletada na região de *Skaftafell*, Islândia.

O plagioclásio apresenta geminação polissintética, sendo representado por labradorita. Apresenta-se de duas formas distintas na rocha, fenocristal e cristalitos, ambos apresentam bordas de reação, representando o desequilíbrio entre uma fase de alta temperatura e a matriz cristalizada rapidamente na superfície. Os cristalitos são minerais diminutos, aciculares, hipidiomórficos e localmente se observa a textura subofítica. A maior concentração e nas

bordas das vesículas, onde se encontram orientados, indicando uma orientação por fluxo, mas também ocorrem sem orientação preferencial, imersos na matriz. Os fenocristais de plagioclásio variam de 1,1mm a 2,7 mm, são tabulares, idiomórficos a hipidiomórficos e apresentam textura glomeroporfirítica (Figura 50 e 51).



**Figura 50.** Círculo em vermelho destacando a textura subofítica formada pela inclusão parcial de plagioclásio em clinopiroxênio.



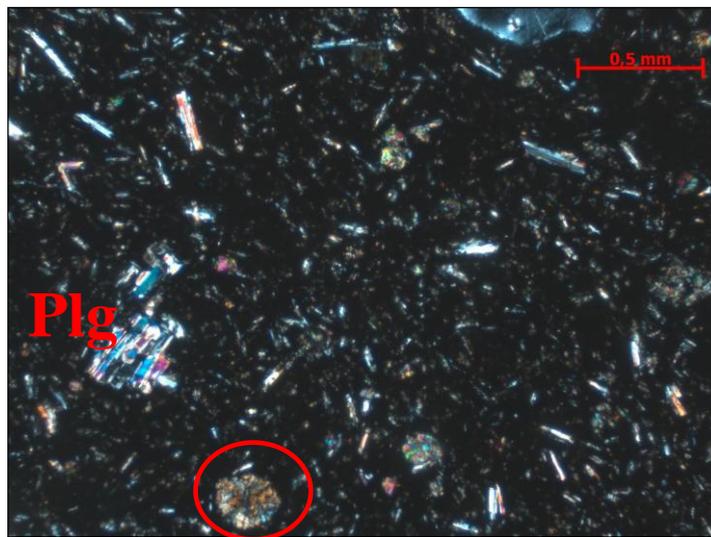
**Figura 51.** Agregado de fenocristais de plagioclásio, indicando a textura glomeroporfirítica.

Os piroxênios são observados sob a forma de microfenocristais xenomórficos, com coloração amarelo claro e birrefringência alta. São de dois tipos: o ortopiroxênio e o clinopiroxênio, sendo o clinopiroxênio o mais abundante.

A olivina é caracterizada por raros cristalitos hipidiomórficos, com relevo alto e ausência de clivagem.

Uma feição bastante comum é a presença de vesículas milimétricas, irregulares ou esféricas, típicas de escape de gás. Em poucas vesículas são encontrados minerais inclusos e bordas de reação onde a mineralogia não pode ser identificada.

A matriz foi interpretada como sendo hipoialina com cristalitos seriados. A rocha apresenta esferulito, indício de resfriamento rápido (Figura 52).



**Figura 52.** Círculo em vermelho destaca a presença de esferulito.

Após a análise de todas as lâminas conclui-se que todas as rochas apresentam a mesma assembléia mineralógica constituída por plagioclásio (labradorita a bytownita), olivina, piroxênios e minerais opacos, em diferentes proporções, porém ocorrem diferenças no padrão textural e na presença de feições como rosetas, estruturas de fluxo e vesículas de escape de gás.

Possivelmente os piroxênios apresentam uma composição intermediária entre diopsídio e augita, porém essa hipótese é de difícil observação devido a espessura da lâmina.

A presença de minerais como ilmenita, magnetita e rutilo são observadas como inclusões em fenocristais.

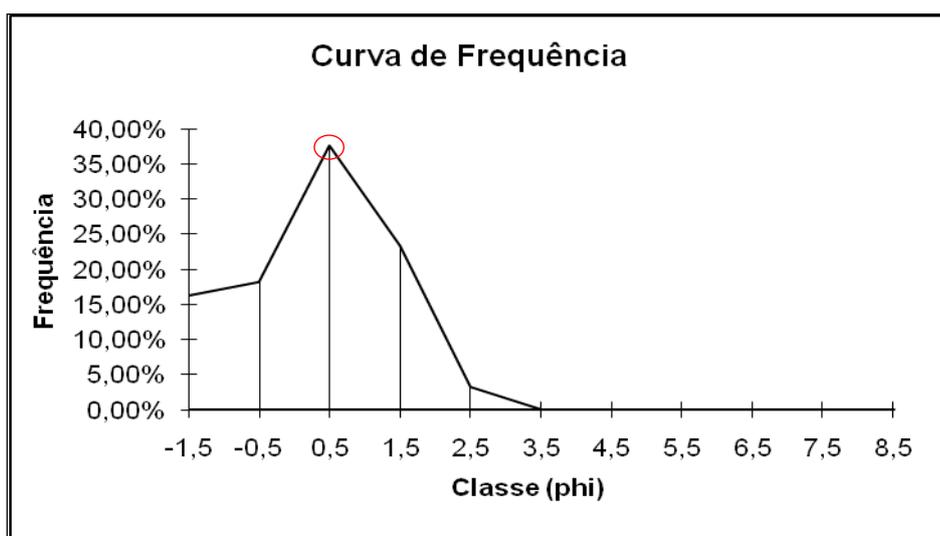
## 6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os valores de diâmetro mediano ( $d_{50}$ ) obtidos na classe phi foram convertidos para dados em mm segundo Suguio (1973). Os sedimentos da porção leste da praia de *Vik bay* foram classificados como areia grossa (0,81mm) e da porção oeste caracterizados como grânulo (2,2mm) conforme tabelas 1 e 2.

Tamanho do grão	mm	Classe (phi)	Peso (g)	% em peso	% acumulada
Grânulo	4,000-2,000	-1.0	96,10	16,24%	16,24%
Areia muito grossa	2,000-1,000	0.0	107,50	18,17%	34,42%
<b>Areia grossa</b>	<b>1,000-0,500</b>	<b>1.0</b>	<b>222,50</b>	<b>37,61%</b>	<b>72,03%</b>
Areia média	0,500-0,250	2.0	138,20	23,36%	95,39%
Areia fina	0,250-0,125	3.0	19,20	3,25%	98,63%
Areia muito fina	0,125-0,061	4.0	0,30	0,05%	98,68%
Silte grosso	0,061-0,032	5.0	0,00	0,00%	98,68%
	0,032-0,016	6.0	0,00	0,00%	98,68%
Silte fino	0,016-0,008	7.0	0,00	0,00%	98,68%
	0,008-0,004	8.0	0,00	0,00%	98,68%
Argila	< 0,004	>8.0	0,00	0,00%	98,68%

**Tabela 1.** Relação de pesos obtidos após os processos granulométricos. Dados referentes ao segmento leste de *Vik bay*.

Através dos resultados obtidos foi construída a curva de frequência através do programa SEDIGRAPH 5100. O pico no gráfico representa o  $d_{50}$  da amostra (Figura 53)

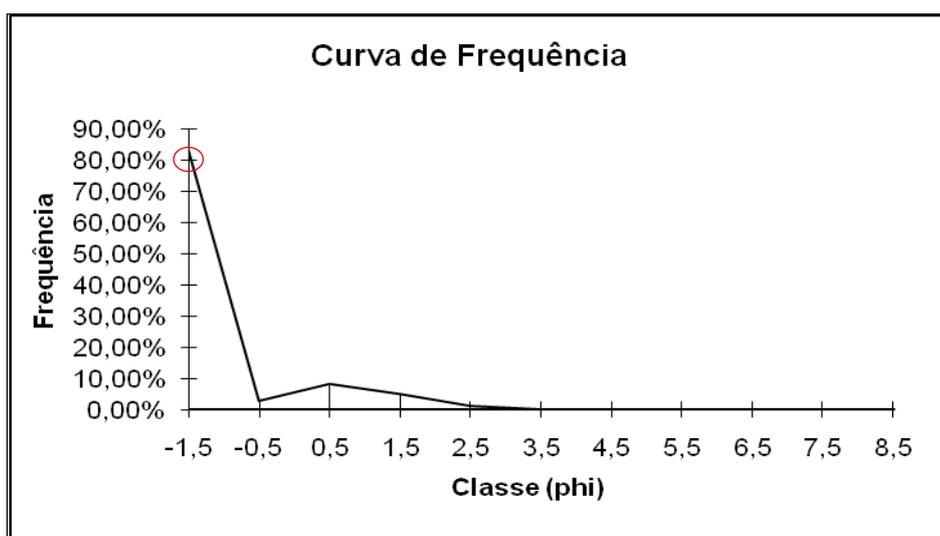


**Figura 53.** Curva de frequência mostrando o  $d_{50}$  da amostra da porção leste.

Tamanho do grão	mm	Classe (phi)	Peso (g)	% em peso	% acumulada
Grânulo	4,000-2,000	-1.0	544,12	83,05%	83,05%
Areia muito grossa	2,000-1,000	0.0	18,00	2,75%	85,79%
Areia grossa	1,000-0,500	1.0	53,58	8,18%	93,97%
Areia média	0,500-0,250	2.0	32,32	4,93%	98,90%
Areia fina	0,250-0,125	3.0	7,43	1,13%	100,04%
Areia muito fina	0,125-0,061	4.0	0,25	0,04%	100,08%
Silte grosso	0,061-0,032	5.0	0,00	0,00%	100,08%
	0,032-0,016	6.0	0,00	0,00%	100,08%
Silte fino	0,016-0,008	7.0	0,00	0,00%	100,08%
	0,008-0,004	8.0	0,00	0,00%	100,08%
Argila	< 0,004	>8.0	0,00	0,00%	100,08%

**Tabela 2.** Relação de pesos obtidos após os processos granulométricos. Dados referentes ao segmento oeste de *Vik bay*.

Com os dados da porção oeste foi possível confeccionar o gráfico de curva de frequência com o auxílio do programa SEDIGRAPH 5100, onde se observa o pico relativo ao  $d_{50}$  no ponto 1,5 phi (Figura 54).



**Figura 54.** Curva de frequência apresentando o  $d_{50}$  da amostra da porção oeste.

Outros parâmetros calculados através dos dados granulométricos classificam as amostras como um sedimento moderadamente selecionado (Figura 55).



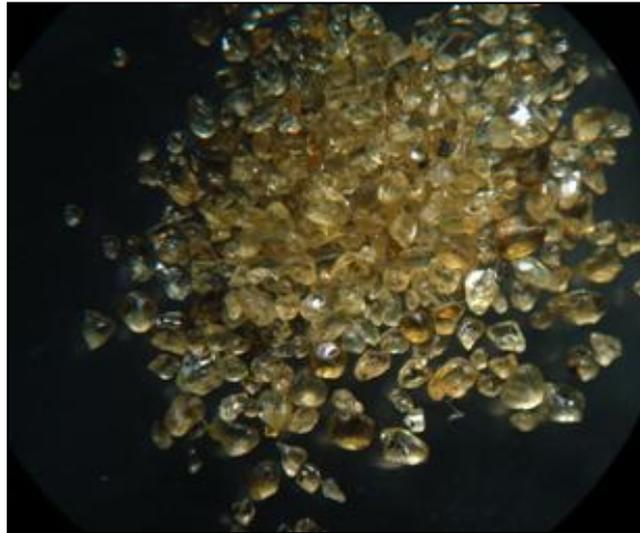
**Figura 55.** Minerais em grãos moderadamente selecionados mostrando superfícies arredondadas, retrabalhadas pelos agentes transportadores.

Os dados estatísticos revelam um ambiente com variação ascendente da granulometria, a partir do segmento leste para a porção oeste de *Vik bay*, mostrando que se trata de uma praia formada por material grosso moderadamente selecionado. Para um diagnóstico ambiental os dados estatísticos em conjunto com a alta concentração de minerais pesados são fundamentais para classificar esse sistema de praia, o caracterizando como em equilíbrio. Caracteriza-se uma praia como equilíbrio quando a perda de sedimentos é igual ao processo deposicional.

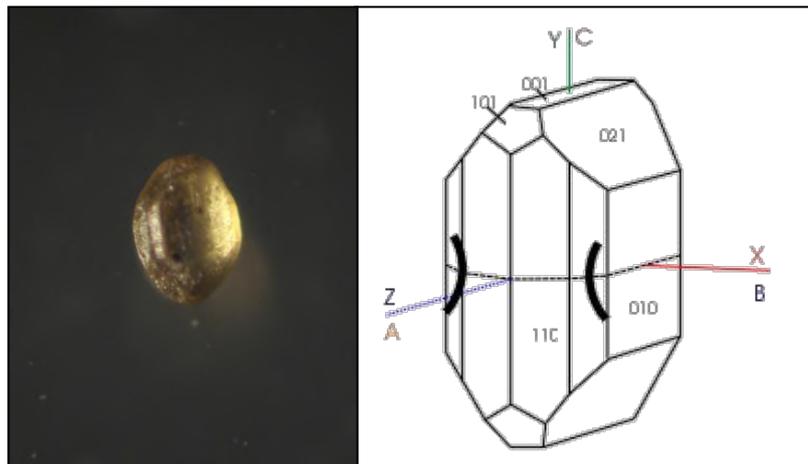
## 6.2. MINERAIS IDENTIFICADOS

### 6.2.1. Minerais Pesados

- Olivina: Silicato de magnésio e ferro ferroso ( $(\text{Mg, Fe})_2(\text{SiO}_4)$ ) do sistema ortorrômbico, pertencente a família dos nesossilicatos, apresenta fratura conchoidal e brilho vítreo. A densidade da olivina varia entre 3,27 e 4,37 g/cm<sup>3</sup>, no sedimento analisado apresenta coloração amarelo límpido e foi atraída pelas frações 0,3A, 0,4A, 0,5A e 0,6A (Figuras 56 e 57).

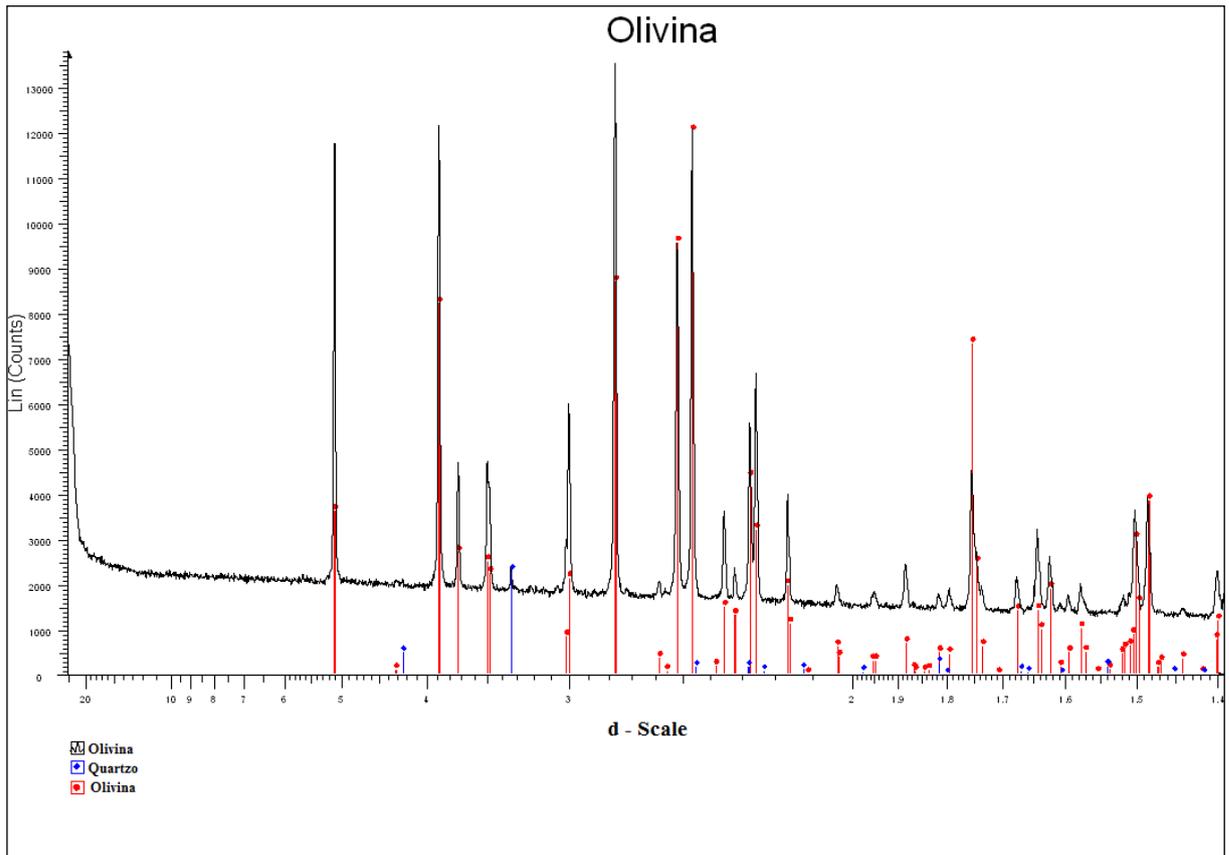


**Figura 56.** Concentrado de olivina presente nas frações 0,3A a 0,6A.



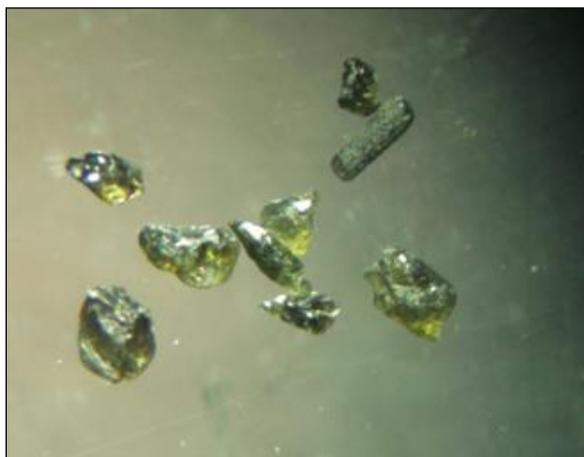
**Figura 57.** Cristal individual de olivina apresentando vestígios do sistema ortorrômbico.

A figura 58 apresenta os picos referentes ao arranjo estrutural da olivina após análise no difratograma de raio-X. Após o estudo observou-se a presença de grãos de quartzo na amostra.

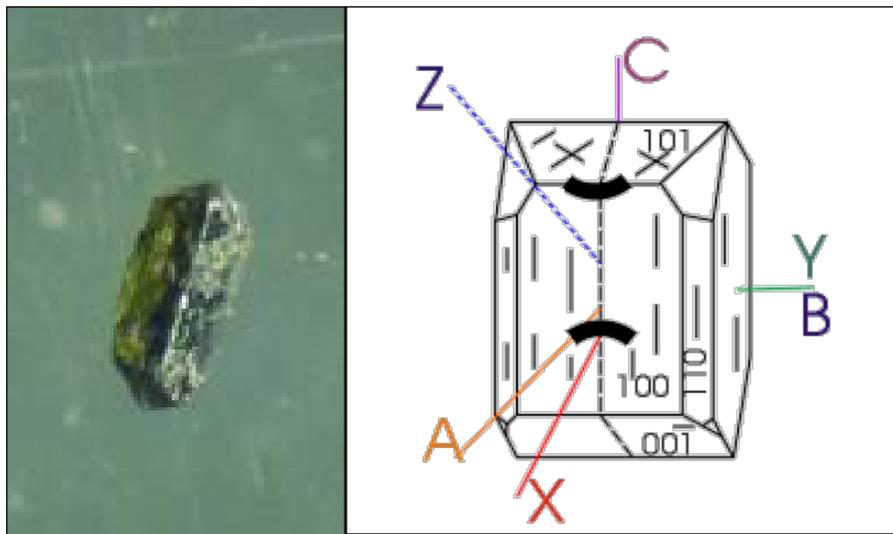


**Figura 58.** Gráfico obtido por difratometria de raios-X mostrando os picos característicos da olivina em vermelho e alguns picos relativos à presença de quartzo em azul.

- Diopsídio: Silicato de cálcio e magnésio ( $\text{Ca (Mg,Fe)Si}_2\text{O}_6$ ) da família dos inossilicatos, sistema monoclinico, brilho vítreo, densidade entre  $3,2$  e  $3,3 \text{ g/cm}^3$  e coloração verde límpido. A principal ocorrência desse mineral foi na fração 0,8A (Figuras 59 e 60).

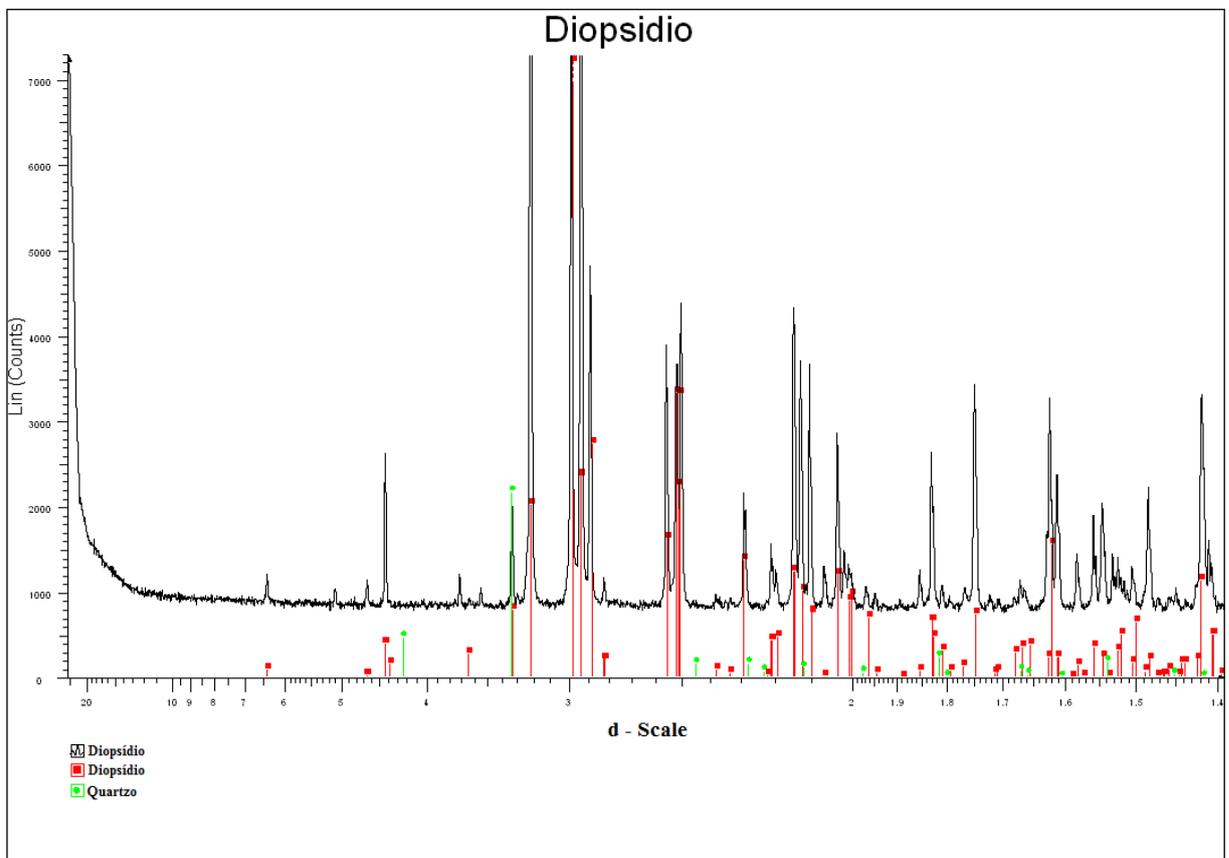


**Figura 59.** Grãos de diopsídio encontrados principalmente na fração de 0,8 Ámpéres.



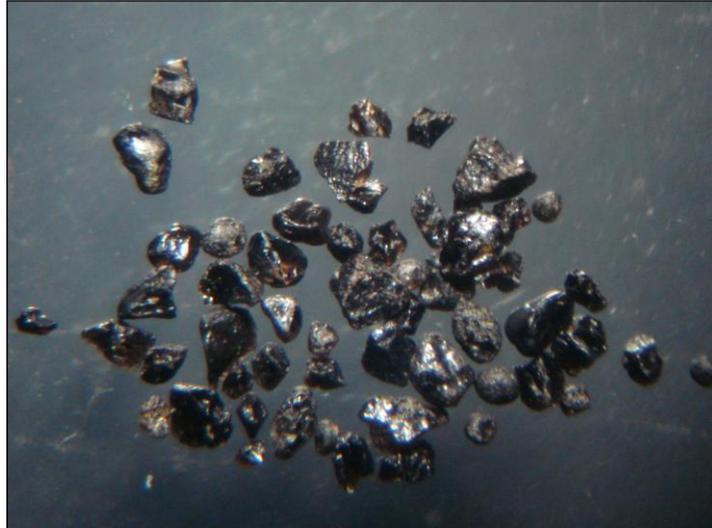
**Figura 60.** Raro cristal de diopsídio exibindo seu sistema cristalino.

A figura 61 apresenta os picos referentes ao arranjo estrutural do diopsídio após análise no difratograma de raio X. Após o estudo observou-se a presença de grãos de quartzo na amostra.



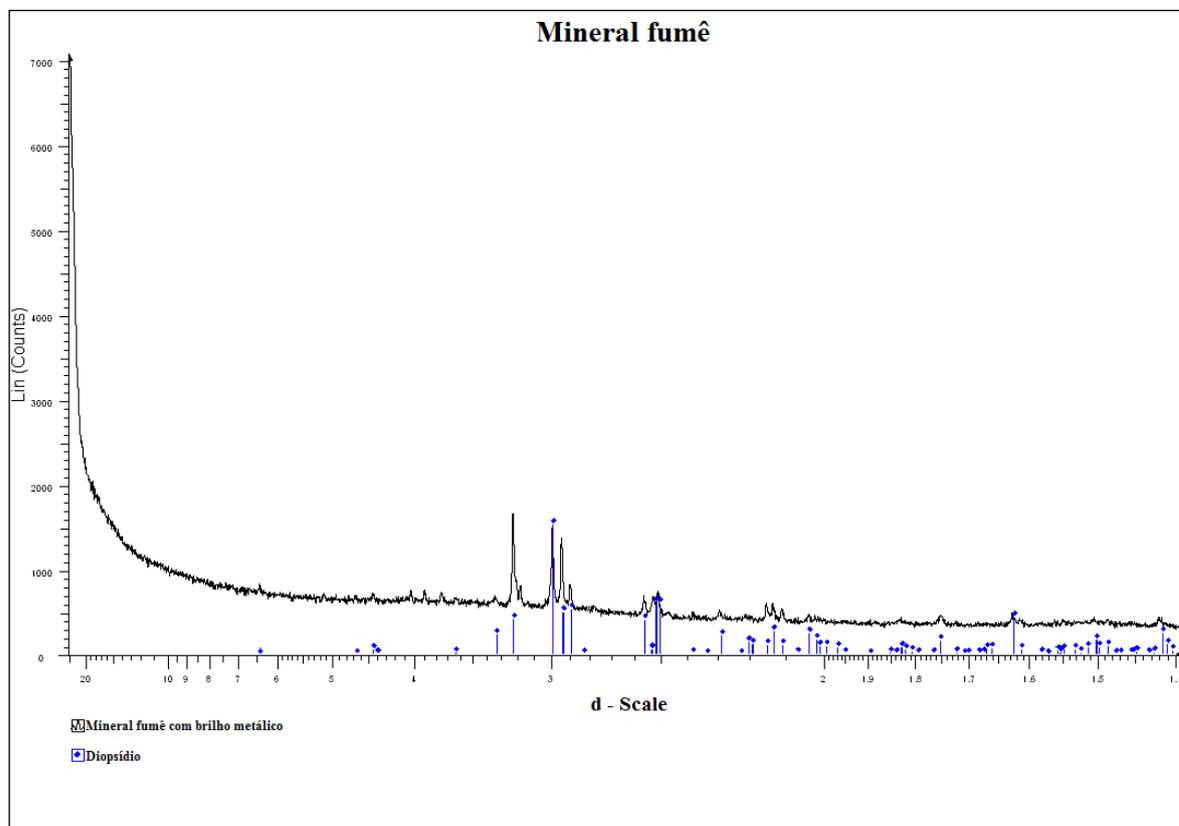
**Figura 61.** Gráfico gerado pelo Difrac Plus XRD após análise dos grãos de diopsídio, observar os picos característicos e a presença de quartzo na amostra.

Após análise de raio-X realizada em outra amostra do concentrado de mineral identificou-se a presença de diopsídio com coloração mais escura que os grãos da amostra anterior. Essa amostra apresentou um baixo grau de alteração (Figuras 62 e 63).



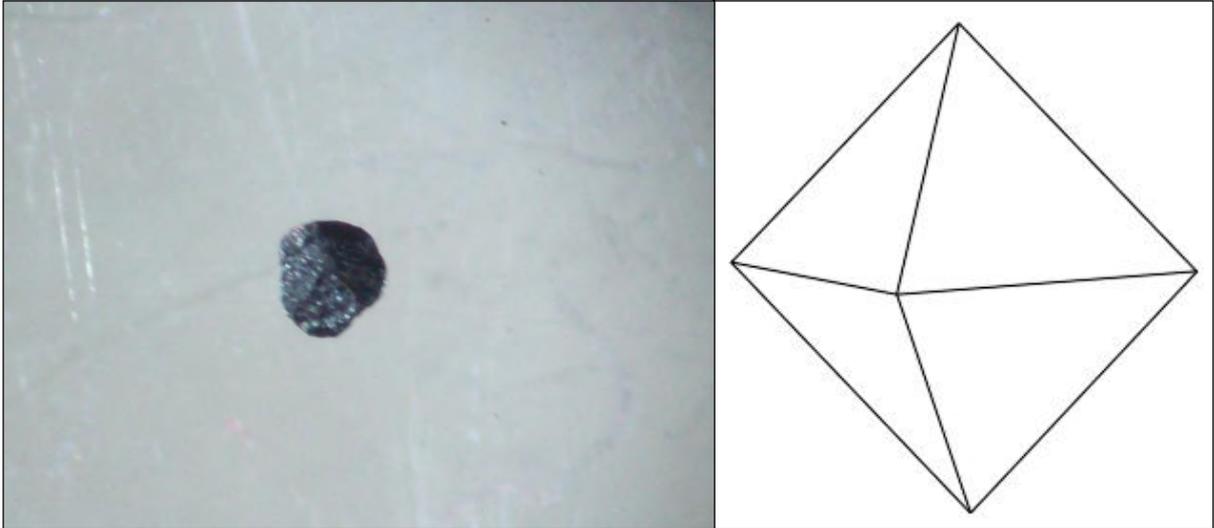
**Figura 62.** Amostra denominada mineral fumê antes da análise de raio-X.

A figura 63 apresenta os picos referentes ao arranjo estrutural do diopsídio após análise no difratograma de raio-X.



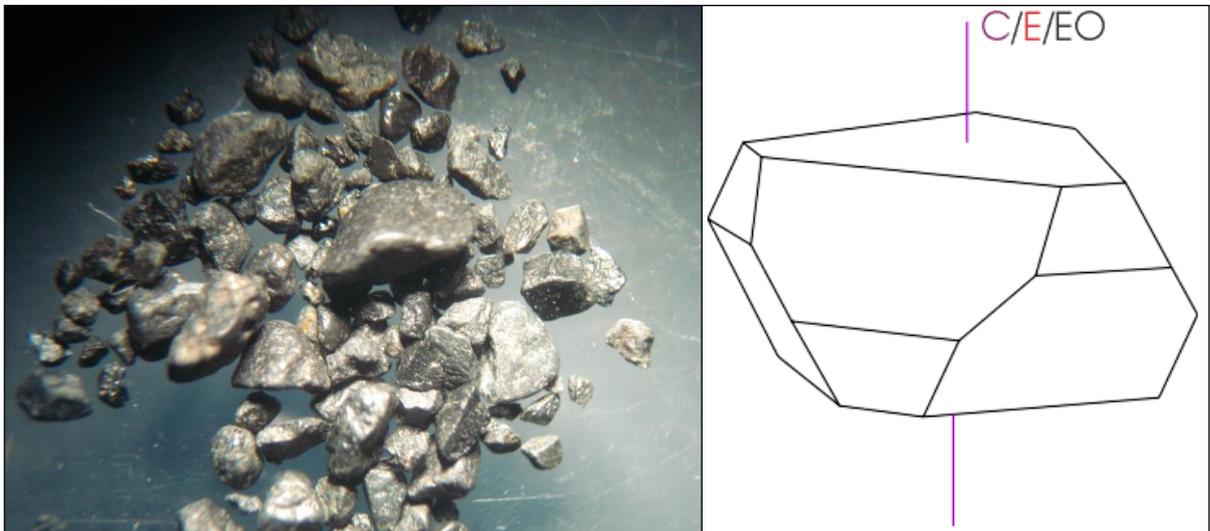
**Figura 63.** Gráfico da amostra denominada mineral fumê demonstrando picos de diopsídio.

- Magnetita: Óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) do sistema hexa-octaédrico com brilho metálico. Mineral fortemente magnético de densidade  $5,18 \text{ g/cm}^3$  e cor preta retirado com o auxílio de imã de mão (Figura 64).



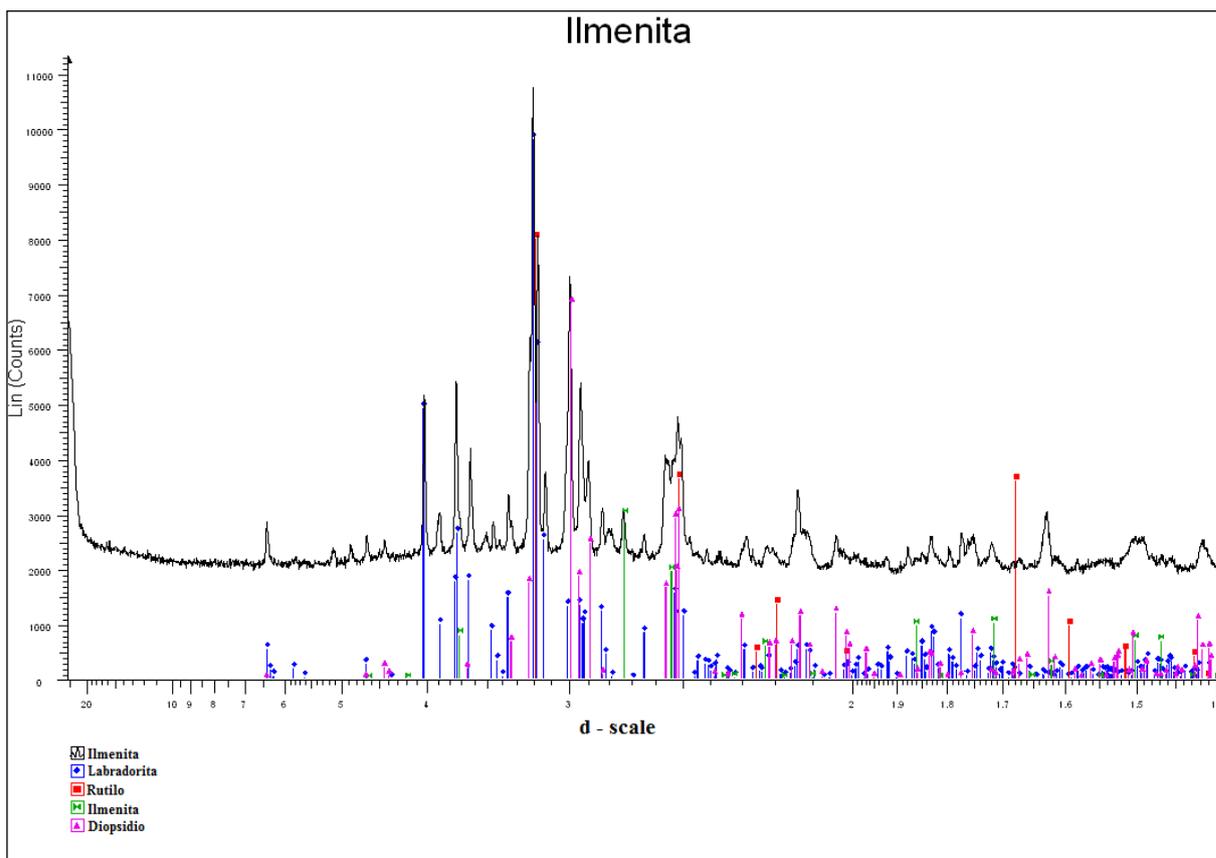
**Figura 64.** Cristal de magnetita atraído pelo imã de mão. Ao lado esquema da forma cristalográfica.

- Ilmenita: Óxido de ferro e titânio ( $\text{FeTiO}_3$ ) do sistema hexagonal-R e densidade  $4,7 \text{ g/cm}^3$ . Apresenta coloração escura com brilho variando de metálico a submetálico, fragmentos predominantes da fração 0,3A (Figura 65 e 66).



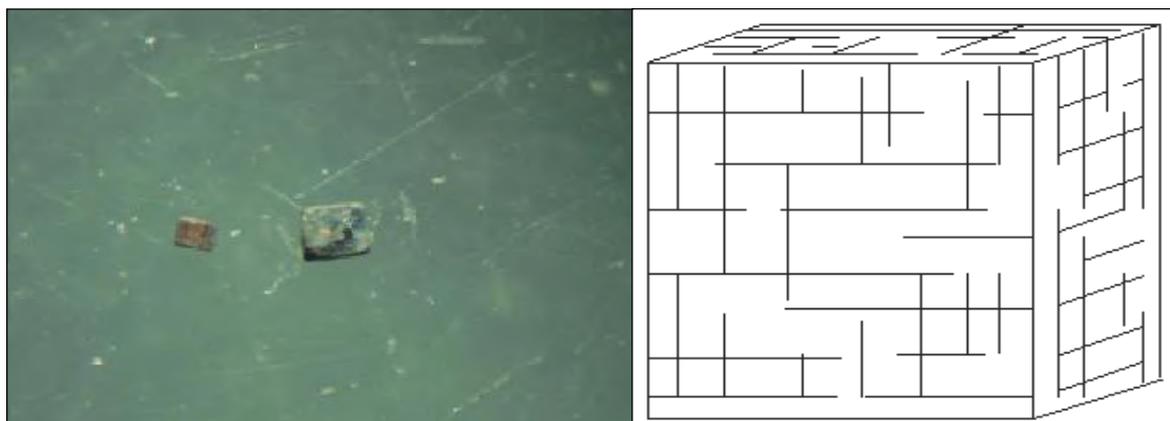
**Figura 65.** Grãos de ilmenita encontrados principalmente na fração 0,3A. Ao lado esquema da forma cristalográfica com as direções ópticas.

A figura 66 apresenta os picos referentes ao arranjo estrutural dos minerais pertencentes à amostra denominada ilmenita. Observa-se a presença de uma assembléia mineralógica típica da análise de fragmentos de rocha, como labradorita, rutilo, ilmenita e diopsídio.



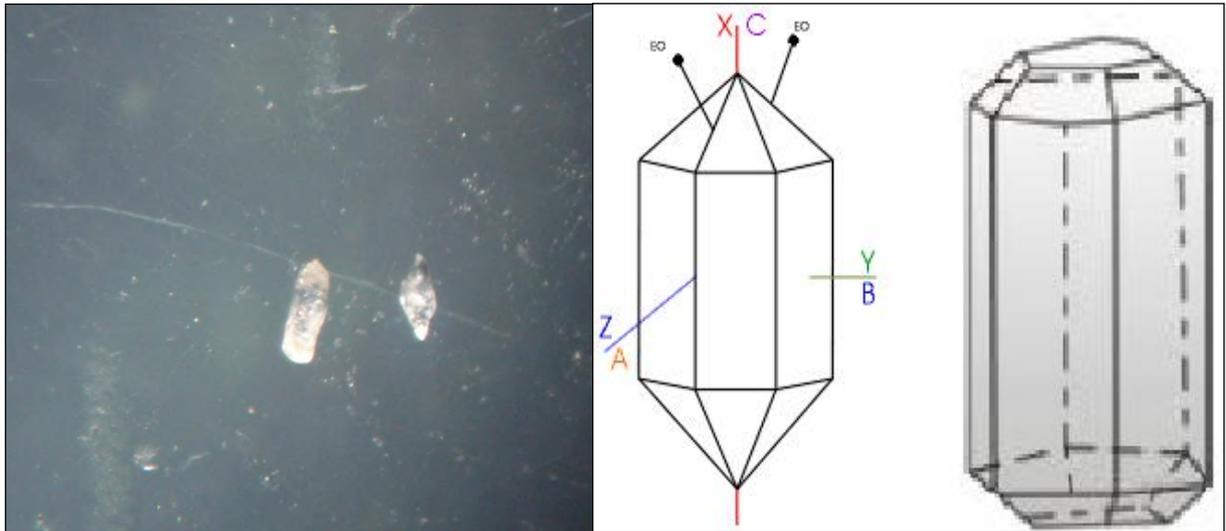
**Figura 66.** Análise da amostra denominada ilmenita onde se observa a grande presença de labradorita e diopsídio, seguidos por concentrações menores de ilmenita e rutilo.

- Pirita e Pirita limonitizada: Bissulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) pertencente ao sistema cúbico. Apresenta cristais de coloração avermelhada a dourado pálido com brilho metálico. É um sulfeto de densidade  $5,02 \text{ g/cm}^3$  que se encontra parcialmente alterado para um óxido de ferro (limonitizado) encontrado somente na fração 0,3A. (Figura 67).



**Figura 67.** Cristais pseudomorfos de limonita sobre pirita encontrados na fração 0,3A. Ao lado esquema da forma cristalográfica com as direções ópticas.

- Apatita: Fluofosfato de cálcio e fluor / cloro ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ ) pertencente ao sistema bipiramidal hexagonal. Os cristais apresentam hábito prismático alongado, brilho vítreo e são incolores. A densidade desse mineral varia 3,15 a  $3,20 \text{ g/cm}^3$ , sendo encontrado na fração de minerais não atraídos (Figura 68).

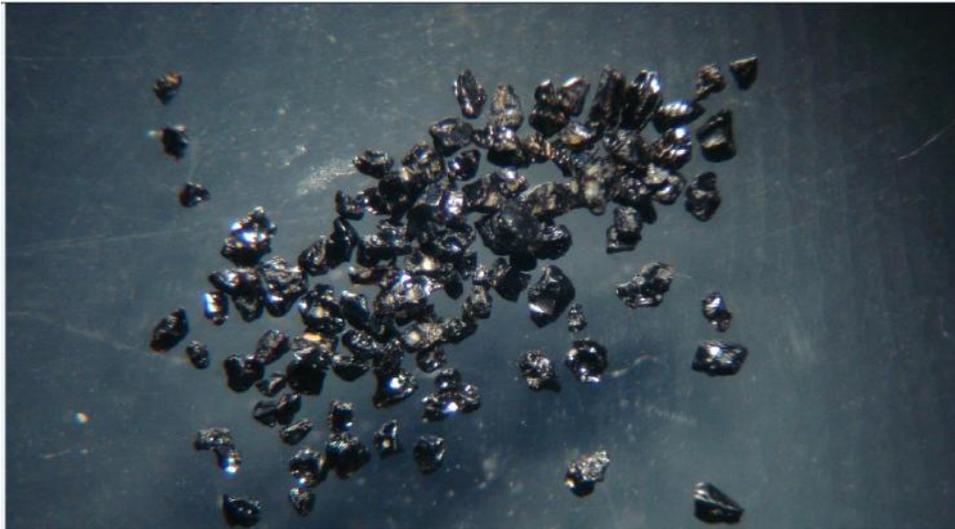


**Figura 68.** Cristais de apatita apresentando resquícios do hábito prismático típico desse mineral.

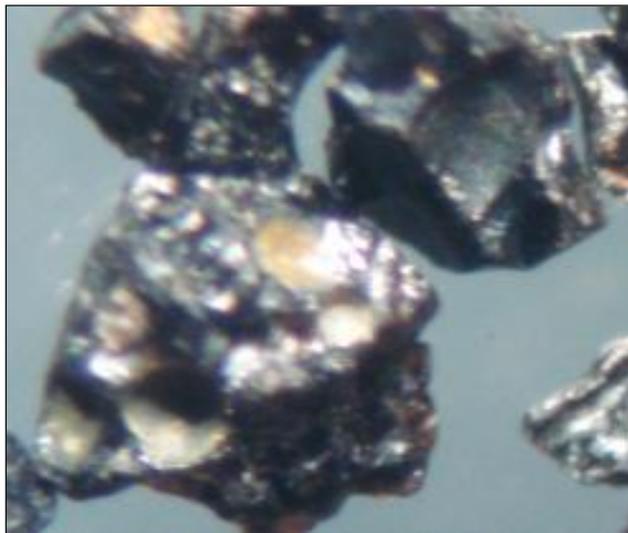
Através do estudo estereomicroscópico e do auxílio dos resultados obtidos pelo difratograma de raio-X observou-se a ocorrência de outros minerais associados às amostras relativas aos minerais pesados. Essa ocorrência foi melhor observada após o estudo no microscópio eletrônico de varredura (MEV).

#### 6.2.2. Minerais leves

- Vidro Vulcânico: São fragmentos de rocha que devido ao rápido resfriamento impossibilitou a formação de um arranjo cristalino, formando assim uma substância amorfa, sem composição definida e de hábito maciço. Os grãos apresentam vesículas, representantes de aprisionamento de gás, fratura conchoidal e arestas agudas. A densidade do material varia de 2,3 a  $2,6 \text{ g/cm}^3$ , fragmentos foram encontrados em todas as amostras até 0,6A (Figuras 69 e 70).

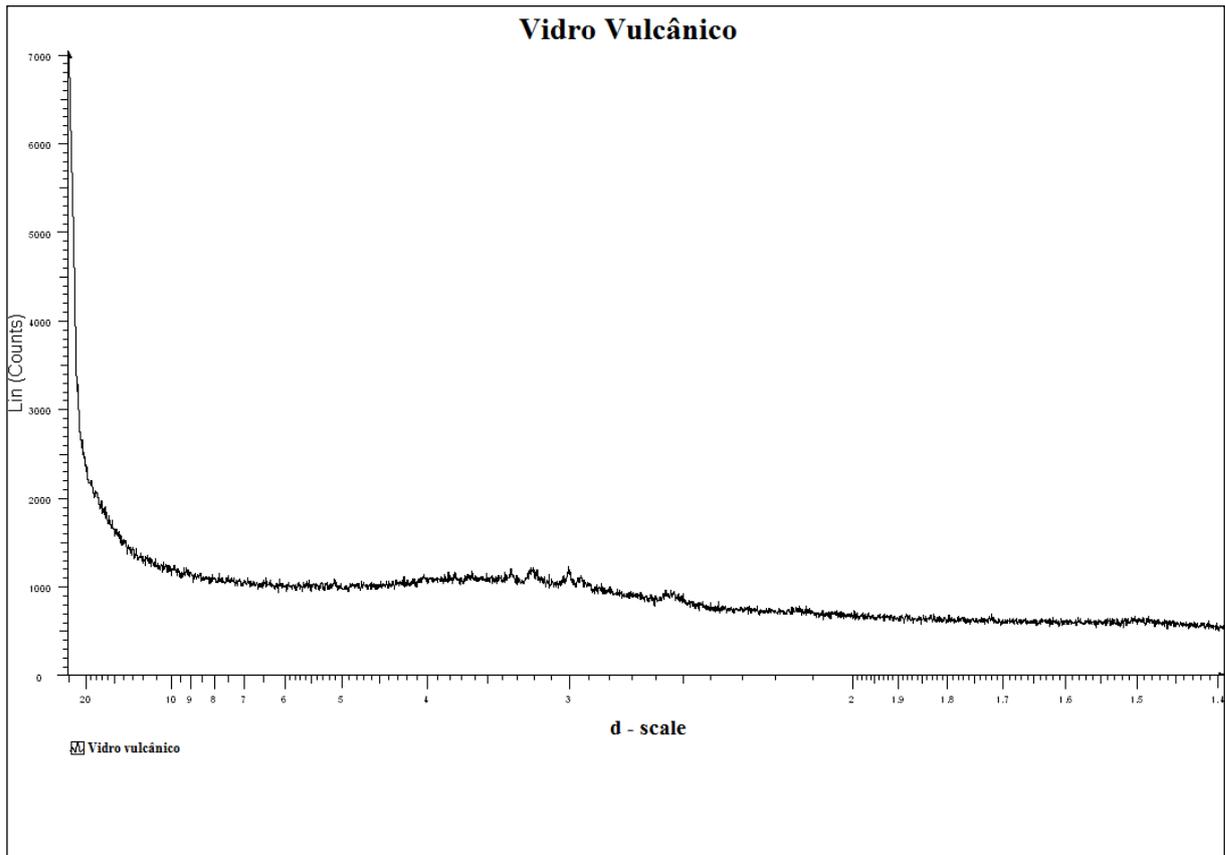


**Figura 69.** Fragmentos de vidro vulcânico apresentando brilho vítreo característico e várias arestas.



**Figura 70.** Feições vesiculares típicas de aprisionamento de gás em fragmentos vítreos.

A figura 71 apresenta o resultado referente à amostra de vidro vulcânico, sendo representados pela ausência de picos.



**Figura 71.** Gráfico gerado pelo difratograma de raios-X mostrando a ausência de picos devido à falta de estrutura cristalina.

- **Quartzo:** Um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre apresenta-se em pequenas concentrações nas amostras. Os raros grãos de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) são incolores, apresentam brilho vítreo e fratura conchoidal. A densidade é de  $2,65 \text{ g/cm}^3$  e o hábito mais comum é o granular. Não foi localizado nenhum exemplar onde se observa o sistema cristalino típico desse tectossilicato, o trigonal ou o hexagonal (Figura 72).



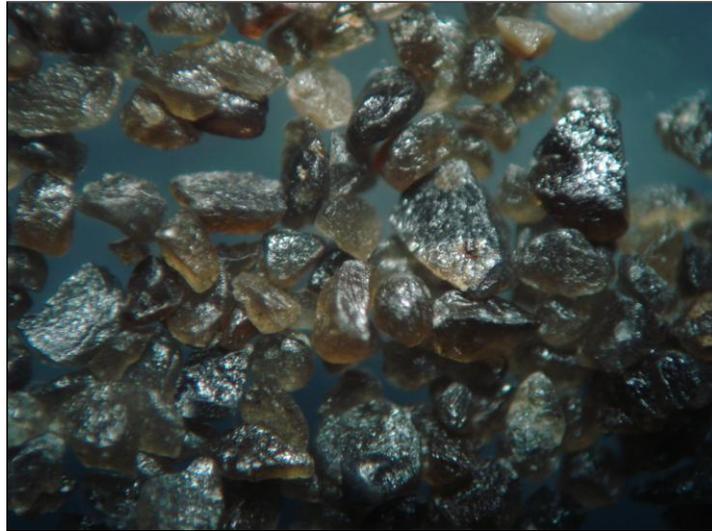
**Figura 72.** Grãos de quartzo encontrados após a separação densimétrica.

- Plagioclásio: Silicato de alumínio, sódio e cálcio ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  e  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) pertencente ao grupo dos tectossilicatos com densidade variando de 2,62 a 2,76  $\text{g/cm}^3$ . Através do método de estereomicroscopia não é possível determinar exatamente o membro da série dos plagioclásios (albita, oligoclásio, andesina, labradorita, bytownita e anortita). Só é possível petrograficamente e por intermédio de raio-X. Assim os cristais de hábito tabular, que variam de grãos incolores quando mais frescos a esbranquiçados quando caulinizados foram nomeados de acordo com a série a qual pertence (Figura 73).

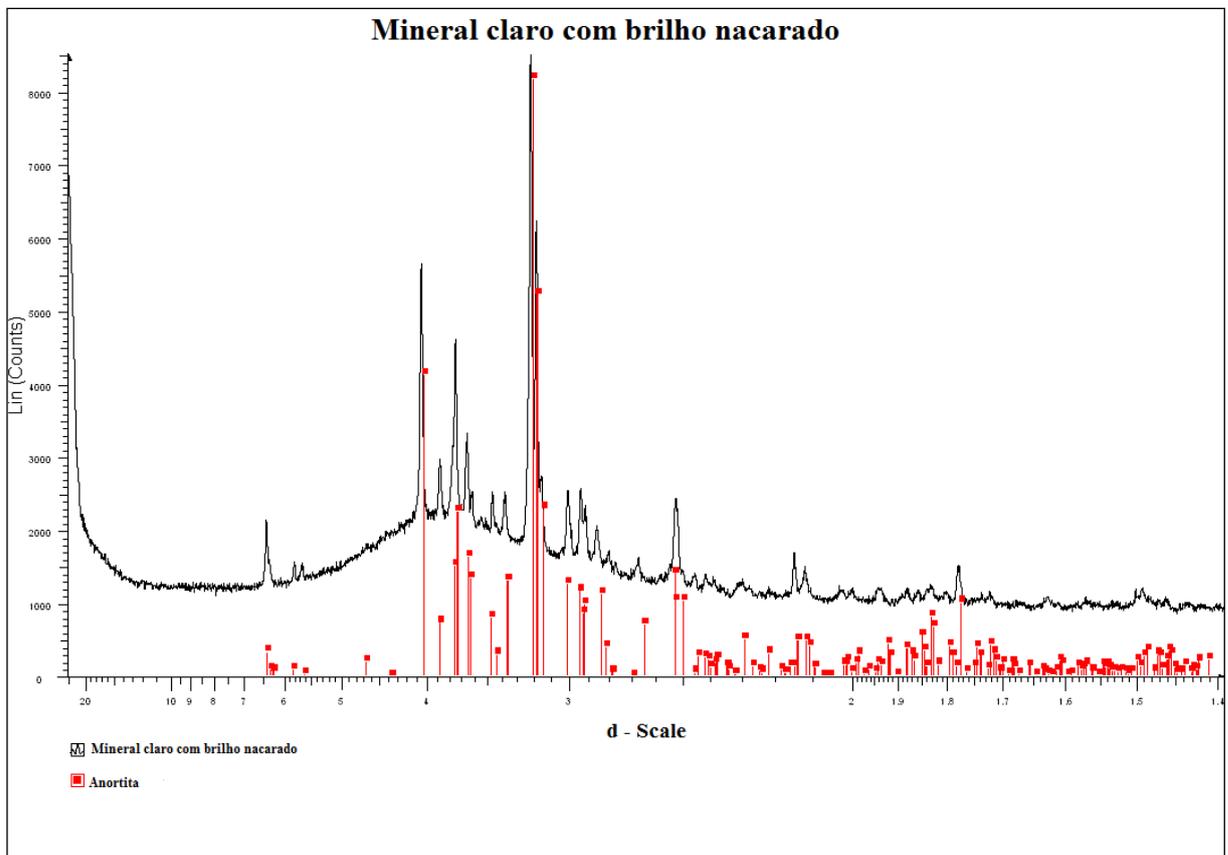


**Figura 73.** Cristais de plagioclásio. A coloração ocorre de acordo com o grau de alteração.

Após a análise de raio-X em uma amostra denominada primeiramente como mineral claro com brilho nacarado foi observado que esse mineral é anortita, plagioclásio sódico (Figuras 74 e 75).



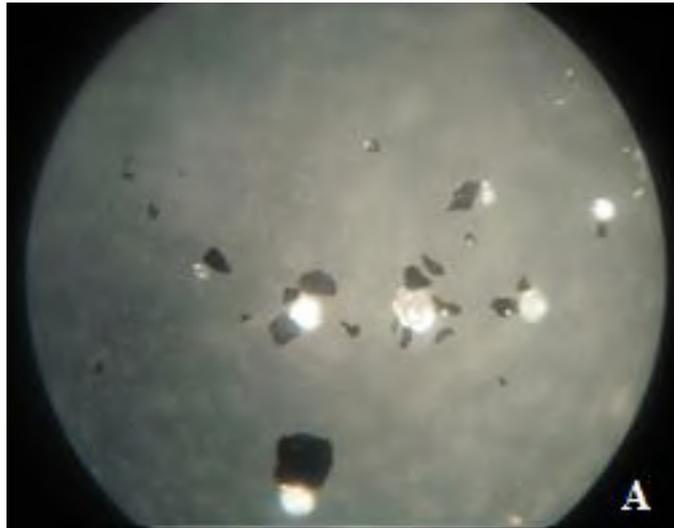
**Figura 74.** Grãos de anortita anteriormente chamados de minerais claro com brilho nacarado.



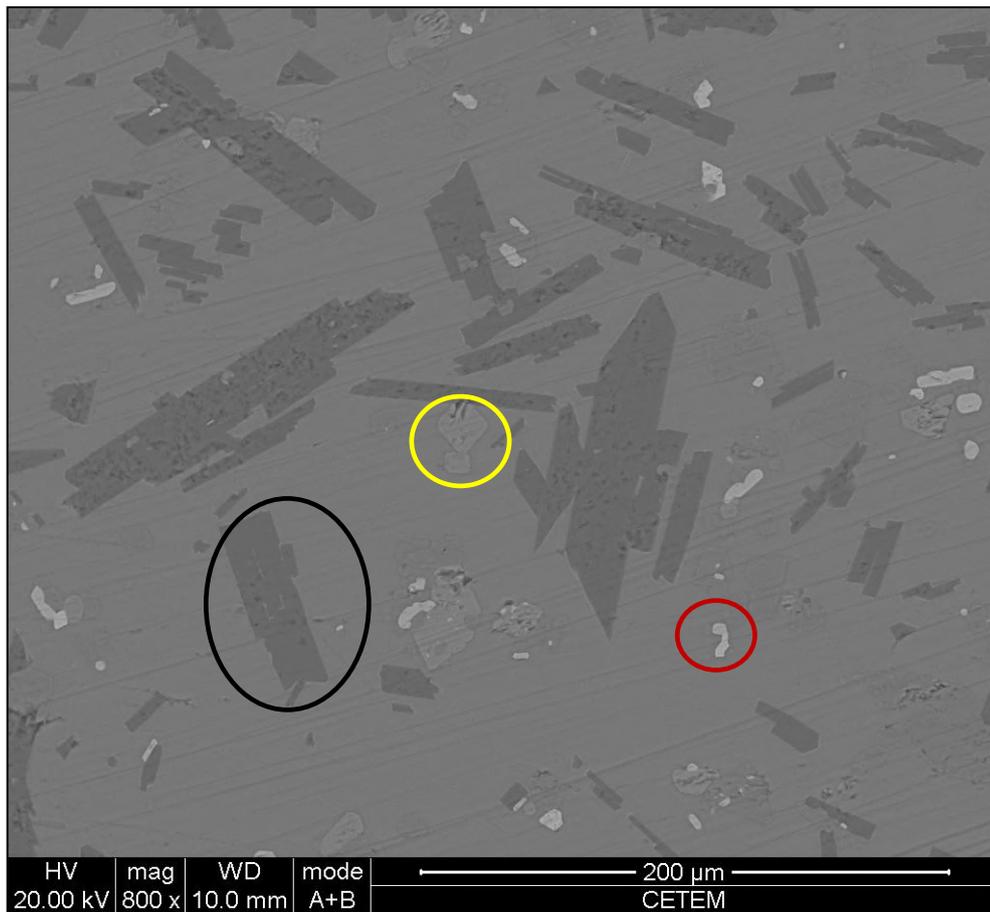
**Figura 75.** Gráfico da análise de raio-X mostrando os picos típicos da presença de anortita.

Alguns grãos minerais foram separados para análise através do microscópio eletrônico de varredura. Após a análise dos briquetes obtiveram-se os seguintes resultados:

- Briquete A: Os grãos desse briquete foram coletados na fração de 0,3A. Após análise observou-se que não se trata de fragmentos minerais, e sim de fragmentos de rocha (Figuras 76 e 77).



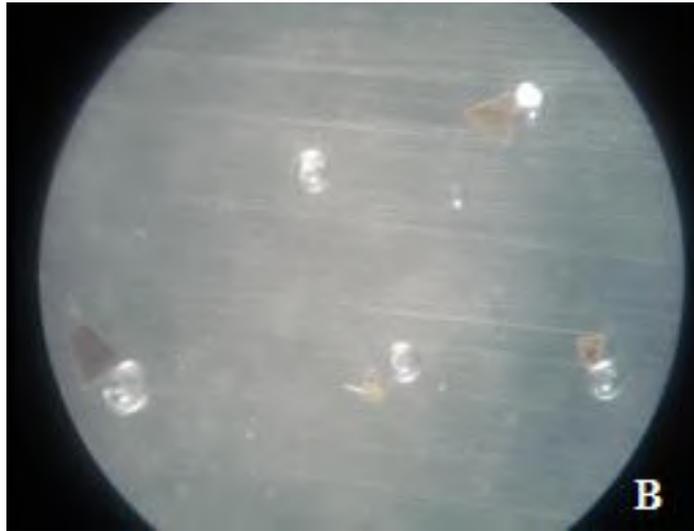
**Figura 76.** Grãos atraídos pela corrente de 0,3A separados para análise no microscópio eletrônico de varredura.



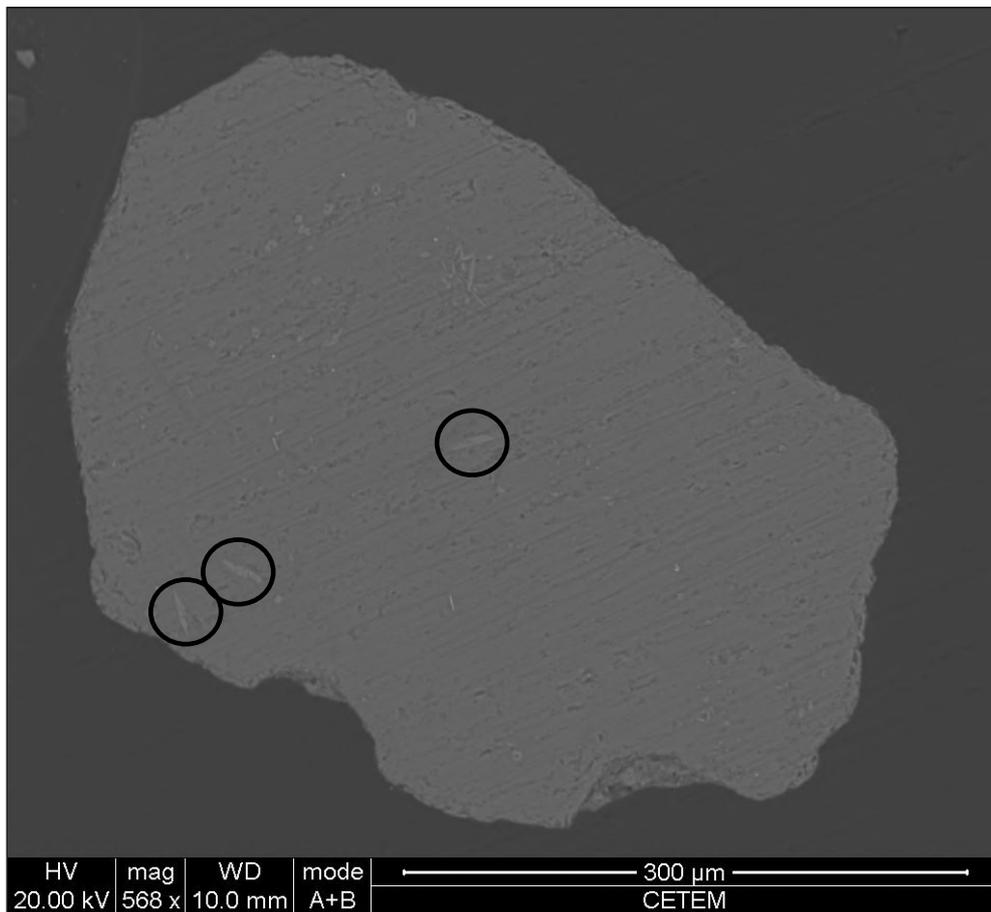
**Figura 77.** Imagem do grão onde se pode observa a presença de matriz homogênea vítrea com plagioclásio tabulares corroídos (círculo preto), além de olivina (círculo amarelo) e ilmenita (círculo vermelho).

A partir desse estudo concluímos que esses fragmentos foram atraídos pela fração 0,3A devido à forte atração magnética da ilmenita quando submetida ao campo magnético gerado nessa amperagem.

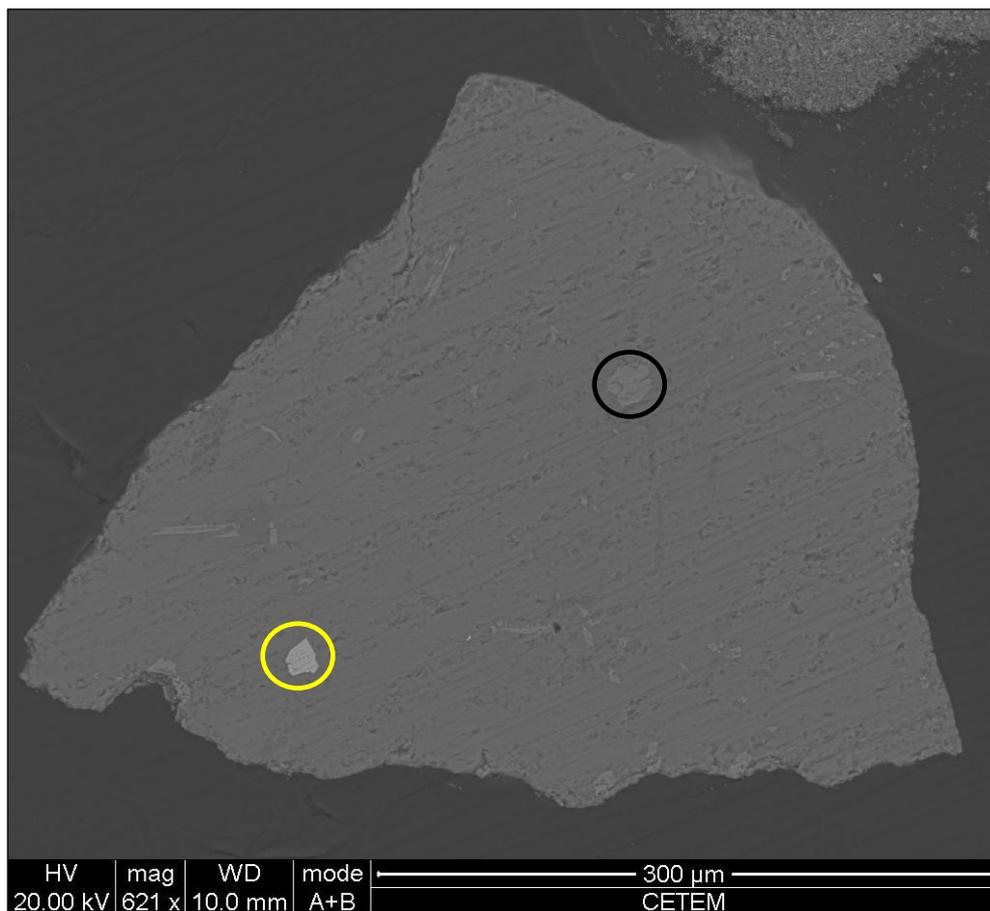
- Briquete B: Os grãos minerais contidos nesse briquete foram coletados na fração 0,8A. Após a análise constatou-se a presença de grãos de anfibólio com inclusões de ilmenita e clinopiroxênio, devido ao alto teor de sódio apresentado pela análise química (Figuras 78, 79 e 80).



**Figura 78.** Briquete B onde estão imersos os grãos analisados.

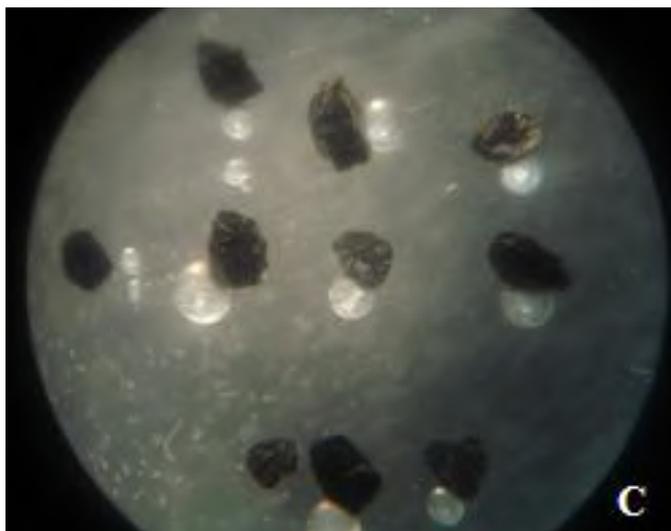


**Figura 79.** Grão contido no briquete B caracterizado como sendo uma hornblenda basáltica também conhecida como lamprobolita, devido às concentrações de silício, alumínio, sódio e ferro. Os círculos pretos assinalam a presença de clinopiroxênio.

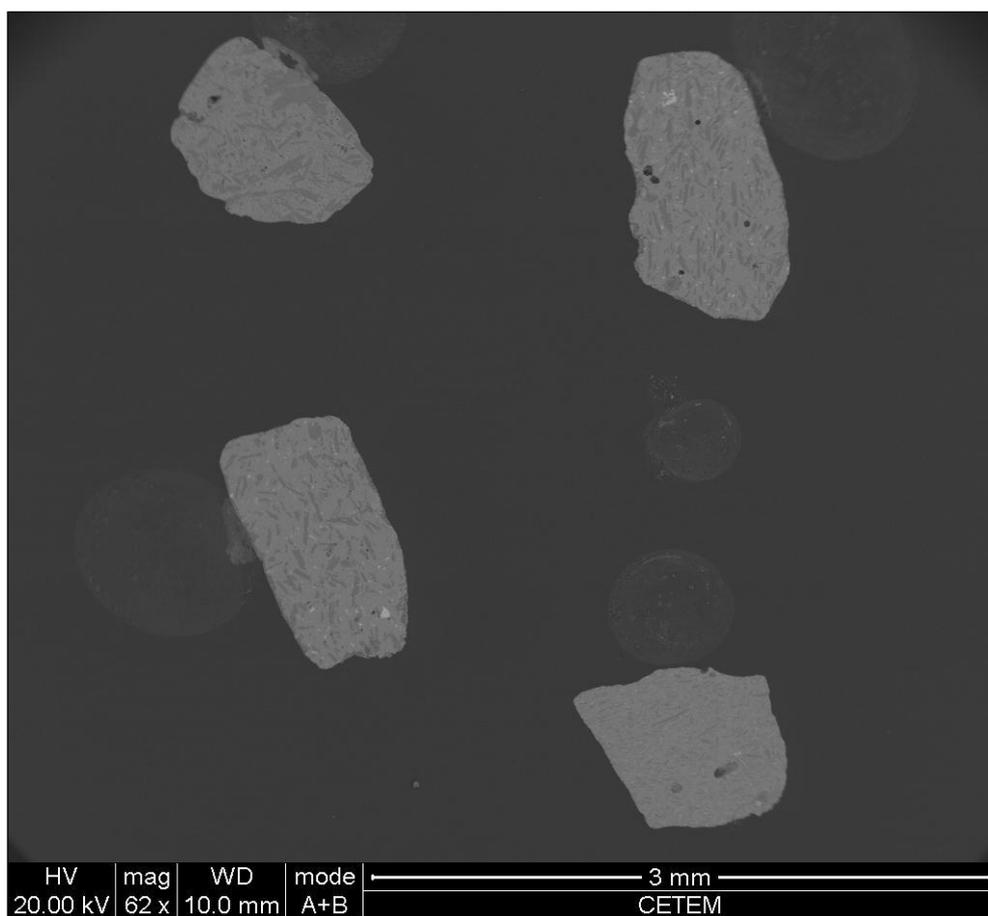


**Figura 80.** Grão de hornblenda basáltica com inclusões de clinopiroxênio em preto e de ilmenita em amarelo.

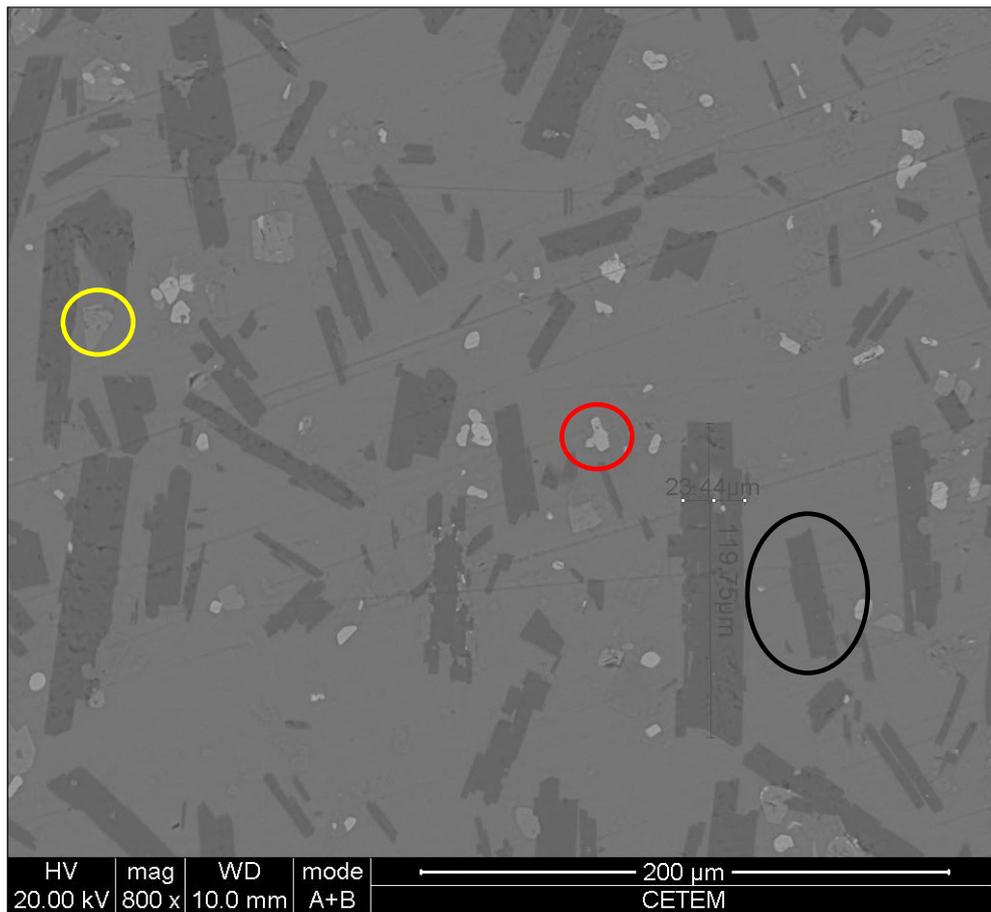
- Briquete C: O material encontrado alojado no briquete C foi retirado da fração 0,8A. Esses grãos são fragmentos de rocha de matriz homogênea vítrea com grãos de plagioclásio, ilmenita e olivina, atraídos para a fração 0,8A (Figuras 81, 82, 83 e 84).



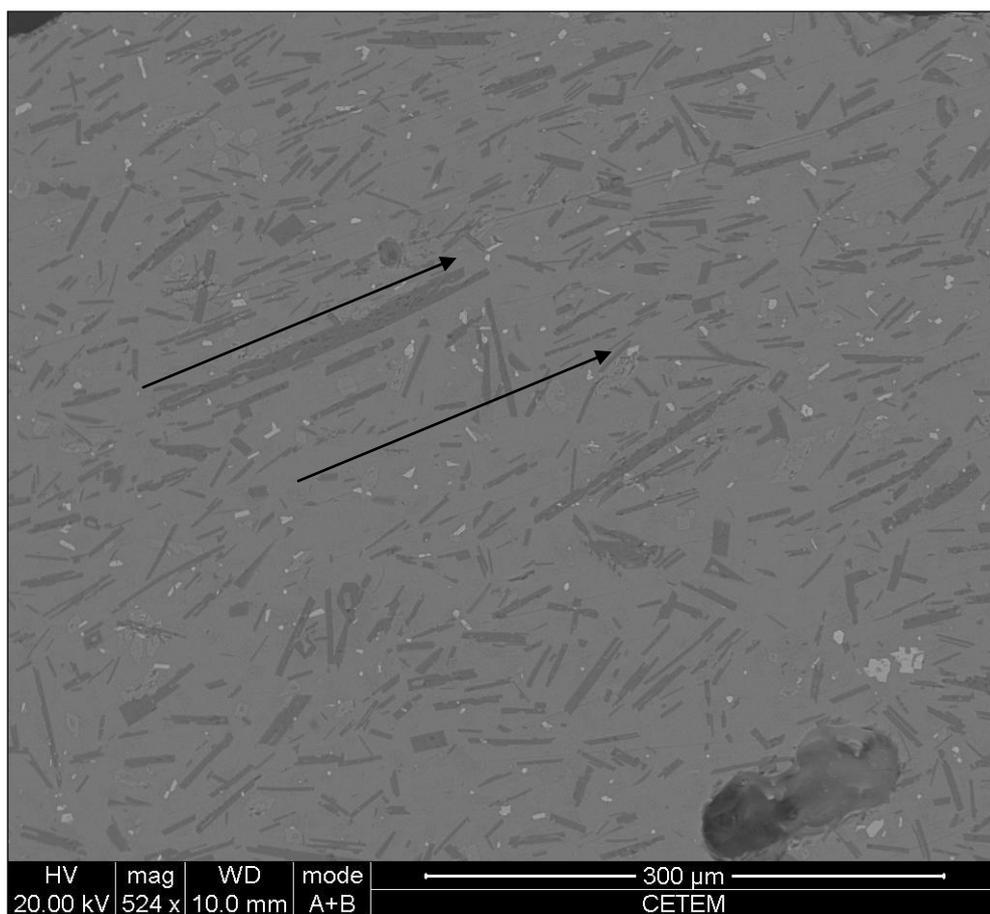
**Figura 81.** Briquete C com os fragmentos analisados.



**Figura 82.** Fragmentos de rocha observados no microscópio eletrônico de varredura.

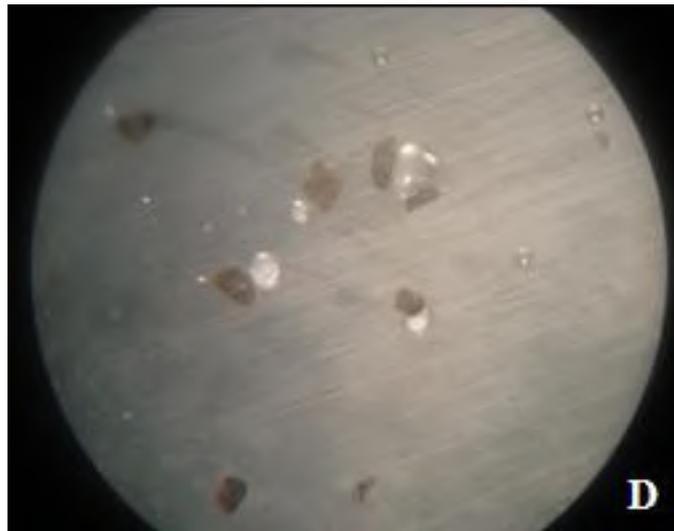


**Figura 83.** Ampliação da imagem de um dos fragmentos de rocha anteriores mostrando a composição mineralógica. Círculo em preto representa plagioclásio tabulares, círculo amarelo destaca a olivina e círculo vermelho a ilmenita.

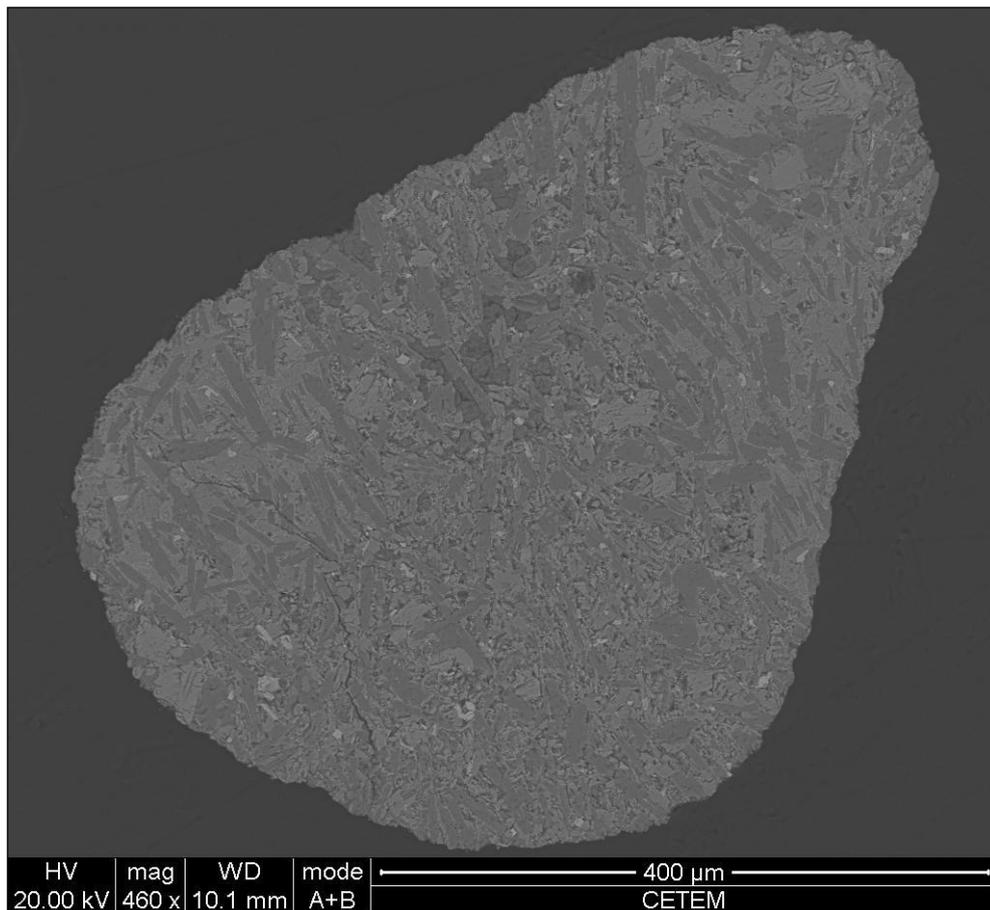


**Figura 84.** Imagem de outro grão da amostra C apresentando a mesma mineralogia onde se pode observar estrutura de fluxo.

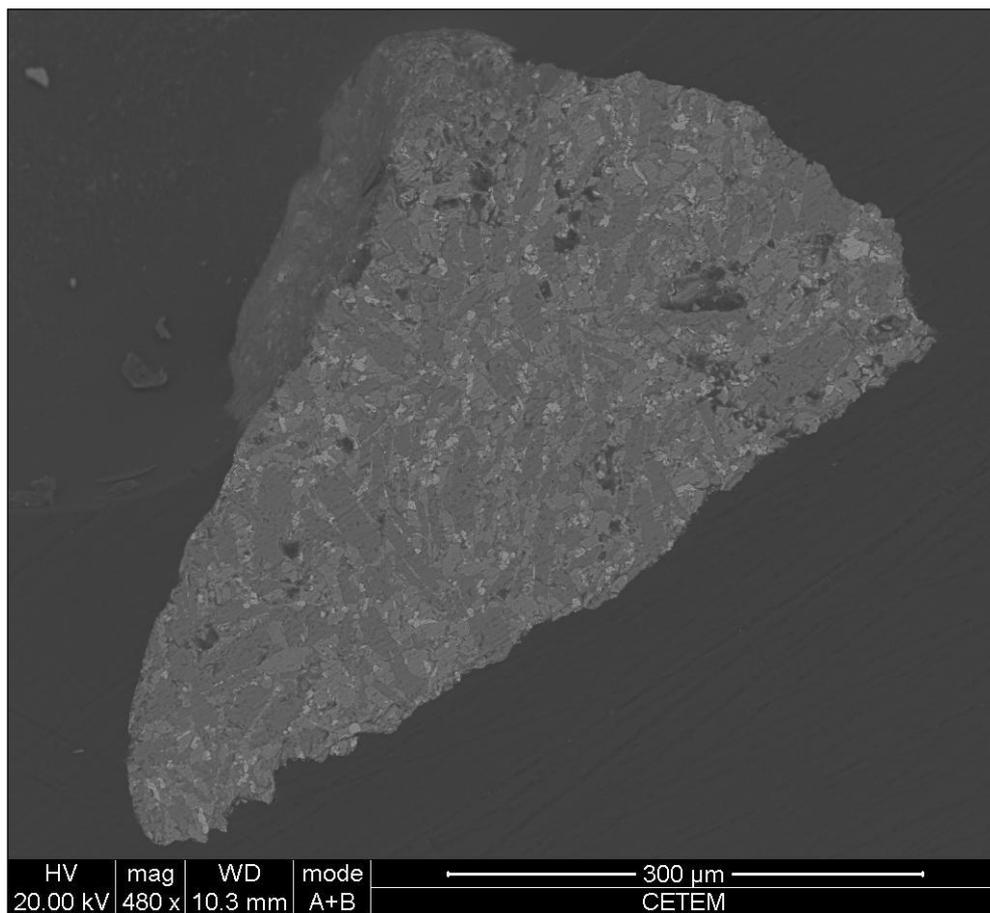
- Briquete D: Os grãos da amostra D foram retirados da fração 0,3A e após análise constatou-se que todos os grãos são fragmentos de rocha contendo plagioclásio, ilmenita e clinopiroxênio (Figuras 85, 86, 87 e 88).



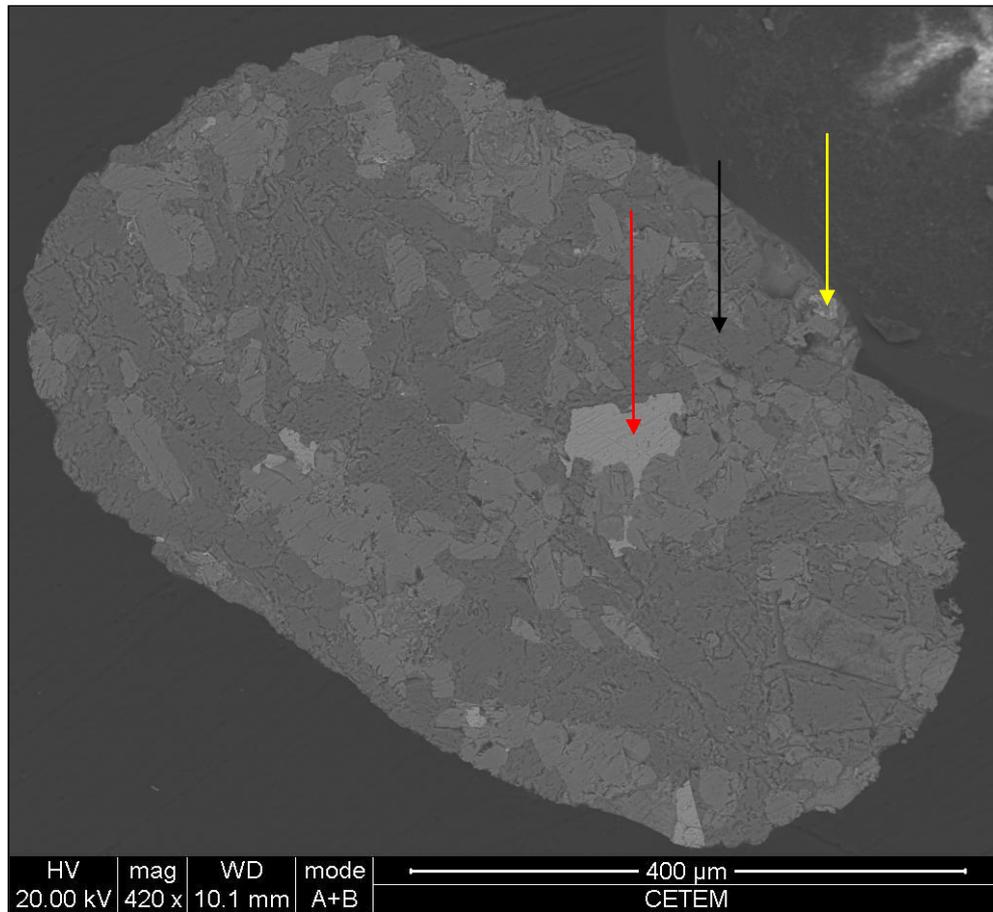
**Figura 85.** Amostra D com os grãos analisados.



**Figura 86.** Fragmento de rocha exibindo granulação muito fina em uma matriz homogênea vítrea.

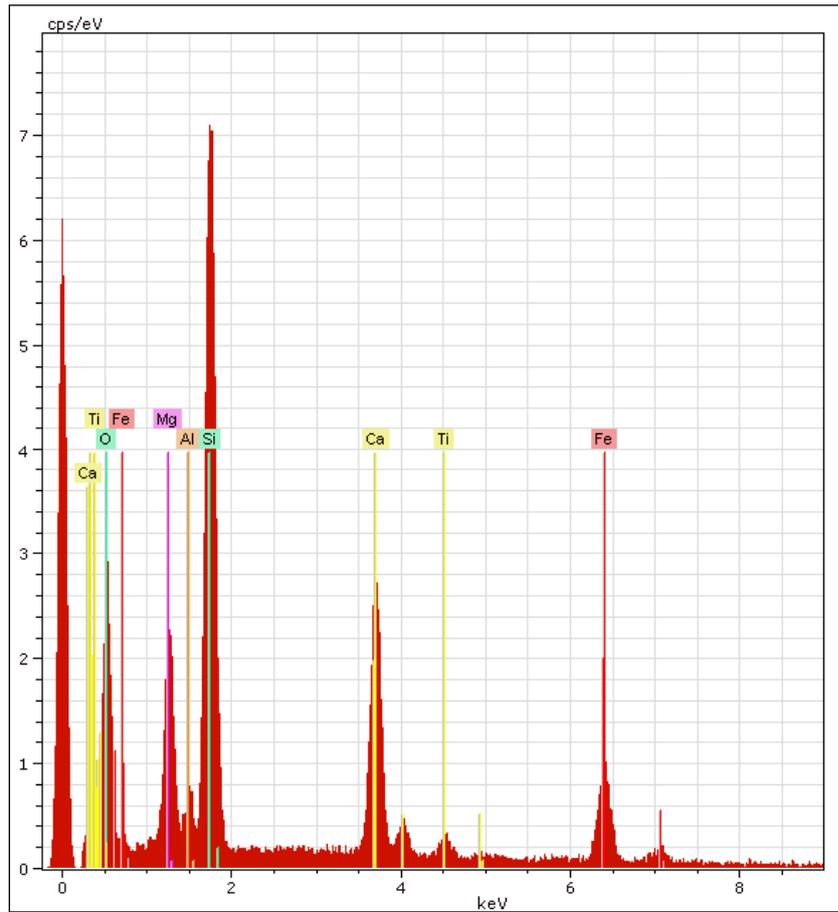


**Figura 87.** Fragmento de rocha semelhante à imagem anterior, apresentando também à mesma mineralogia.

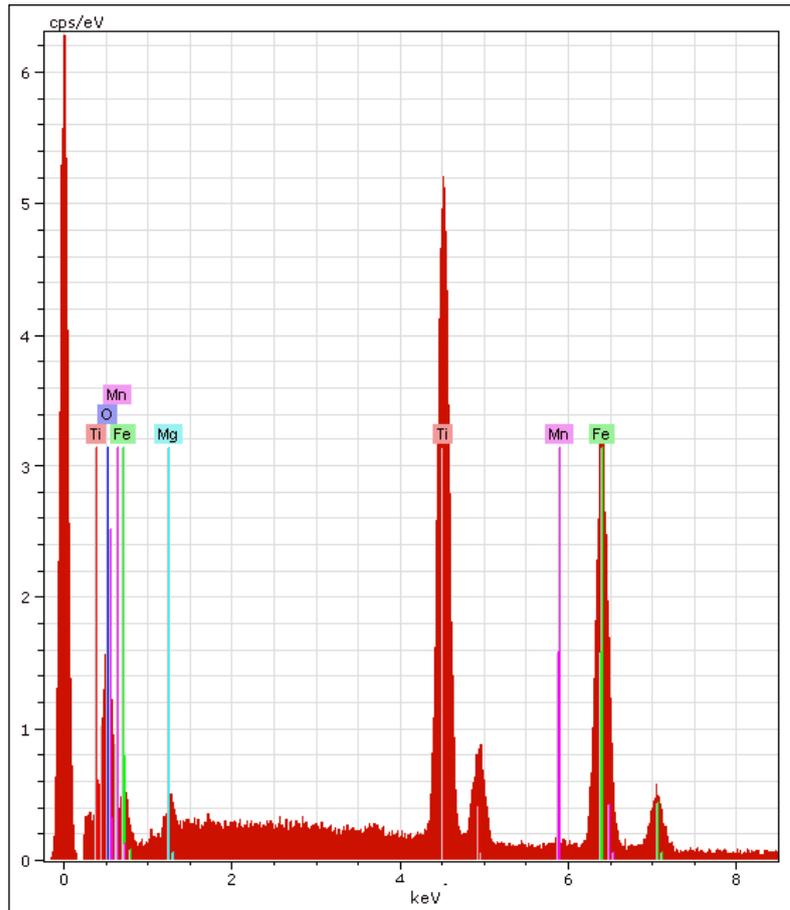


**Figura 88.** Fragmento de rocha onde se observam minerais sem forma definida, porém contendo a mesma mineralogia. Seta preta aponta plagioclásio, a amarela (clinopiroxênio) e a vermelha (ilmenita).

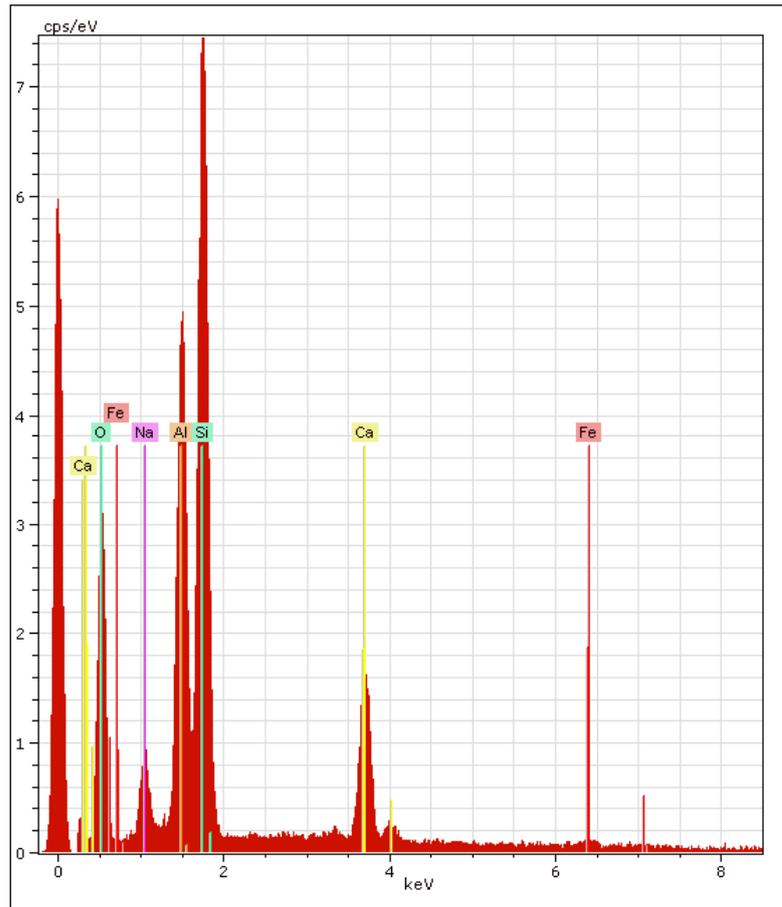
A mineralogia dos fragmentos de rocha foi obtida através da análise química dos minerais realizada pelo microscópio eletrônico de varredura (Figuras 89, 90 e 91).



**Figura 89.** Análise química do mineral identificado como clinopiroxênio. Observar altas concentrações de silício, cálcio e magnésio.



**Figura 90.** Análise química do mineral identificado como ilmenita. Observar picos de titânio e ferro.



**Figura 91.** Análise química do mineral identificado como plagioclásio apresentando altas concentrações de silício, alumínio e cálcio.

Com os dados citados acima observou-se a presença de olivina, diopsídio, pirita, magnetita, ilmenita, apatita, rutilo e anfibólio basáltico. Esse último, conhecido também, como lamprobolita, apresenta densidade entre 2,9 a 3,5 g/cm<sup>3</sup>. Esses minerais formam o conjunto de *placers* contidos na amostra coletada em *Vik bay*, tanto no segmento oeste como leste. Assim como a ocorrência de minerais leves, entre estes, quartzo, plagioclásio (labradorita e anortita) e vidro vulcânico pertencentes às amostras anteriores, associadas a fragmentos de rochas.

## 7. CONCLUSÃO

Conforme objetivos propostos chegaram-se as seguintes conclusões:

- A mineralogia componente do sistema praial de *Vik bay* é representada por olivina, diopsídio, pirita, magnetita, ilmenita, apatita, rutilo, anfibólio basáltico, quartzo, plagioclásio (labradorita, bytownita e anortita), vidro vulcânico e fragmentos de rocha. Os minerais se encontram arredondados, devido ao retrabalhamento por ondas de alta energia “*swell*”. Os fragmentos de vidro vulcânico foram caracterizados como angulosos.
- Os minerais são selecionados hidraulicamente devido à ação de ondas de tempestade, correntes e regime de meso – maré. Os minerais pesados se concentram no limite de preamar, enquanto que as frações leves são carregadas no sentido *offshore*.
- Os minerais pesados identificados são os principais responsáveis pela manutenção do perfil morfológico dos segmentos leste e oeste das praias de *Vik bay*. Devido ao alto padrão granulométrico e a elevada densidade constituem em mecanismo controlador das variações hidrodinâmicas típicas do ambiente praial, como a incidência de ondas de tempestade do tipo “*swell*”.
- Os segmentos leste e oeste de *Vik bay* caracterizam-se por estágio morfodinâmico dissipativo a intermediário constituído por múltiplas arrebentações com períodos variáveis entre 7 a 17 s. Os minerais pesados identificados são os principais responsáveis pela manutenção do perfil praial.
- A mineralogia identificada no sedimento é de proveniência basáltica. Todas as amostras de rochas coletadas próximo a área de estudo apresentaram a mesma composição do material constituinte de *Vik bay*, porém com características diferentes devido à geração em diferentes pulsos magmáticos. As regiões de coleta das rochas são áreas adjacentes ao vulcão *Eyjafallajokull*, sendo o principal fornecedor de material para construção do sistema praial.

Portanto, o estudo dos minerais pesados serviram como uma excelente ferramenta para determinação da proveniência de material submetidos a ondas de tempestade “*swell*” em praias com estagio morfodinâmico dissipativo à intermediário como é o caso de *Vik bay* no sul da Islândia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelinet, M; Fortin, J; Geoffroy, L. Physical properties of Icelandic basalts: preliminary field observations and experimental data. Université Du Maine – Laboratório de Geologia, ENS Paris.
- Andresen, C. S. et al. Holocene climate variability at multidecadal time scales detected by sedimentological indicators in a shelf core NW off Iceland. *Marine Geology*, n 214, p: 323-338, 2005.
- Atlas geográfico mundial - Pra conhecer melhor o mundo em que vivemos - Europa II. Ed. sol90, v. 5.
- Cascalho, J et al. Os minerais pesados como indicadores dos processos sedimentares – alguns exemplos da plataforma continental portuguesa. Universidade de Evora. VII Congresso Nacional de Geologia, 2006.
- Castro, J. W. A.. Concentração de minerais pesados em linha de preamar: Geoindicador erosivo ou de instabilidade, exemplo da praia Brava - Búzios / RJ. In: XLIII Congresso da SBG, 2006, Aracajú. Anais XLIII SBG. Salvador: UFBA. v. 1. p. 45-46.
- Castro, J. W. A. Oceanic Islands of Trindade and Fernando de Noronha, Brazil: Overview of the Environmental Geology. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Junho 2010.
- Coutinho, N. M. Erosão e deposição de sedimentos no arco de praia da Barra da Tijuca / Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro – RJ, Mestrado Geologia UFRJ, 2007.
- Dana, J. D. Manual de Mineralogia, Vol I e II. Ed. Livros Técnicos e Científicos, 1976.
- Jónsson, J. G. The Geology of Iceland. Tradução: Nicholas Jones, JPV, 31 p.2007.
- Jónsson, S., The Marine Research Insitute, University of Akureyri, 2008 (<http://www.fisheries.is/history/>).
- Mange, M. A; Wright, D. T. Heavy Minerals in use. Primeira edição, Amsterdam, 2007.
- Malmberg, S. A. The Iceland Basin -Topography and Oceanographic Features. Marine Research Institute, Reykjavík, 2004.
- Pereira, R.M.; Ávila, C.A.; Lima, P. R. A. S. Minerais em grãos – técnicas de coleta, preparação e identificação. Ed. Oficina de Textos, 127 p. 2005.

Pereira, R. S. Avaliação do Risco Geológico no Arco Praial do Però, Município de cabo frio (RJ), Mestrado Geologia UFRJ, 2008.

Silva, N. M. T. N. O Relevo das áreas costeiras: subsídios para o ensino da geografia com a inserção da temática ambiental. Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental – PPGEA / FURG - RS. ISSN 1517-1256, v. 23, 2009.

Stewart, I. Earth - the Power of the Planet. Episódio 1 - Vulcões. Documentário BBC, 2007.

Suguio, K. Dicionário de Geologia Marinha: com termos em Inglês, Frânces e Espanhol. Biblioteca de Ciências Naturais, v. 15, T. A. Queiroz, São Paulo (1992).

Suguio, K. Introdução a sedimentologia. Ed. EDUSP, 1973.

Teixeira, W., Toledo, M. C. M., Fairchild, T. R., Taioli, F. e outros. Decifrando a Terra. Ed. Oficina de Textos, 2001.

Ward, P. L., New interpretation of the geology of Iceland: Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 2991-3012 (1971).

Weisenberger, T. Introduction to the geology of Iceland, 2009. (<http://www.tobias-weisenberger.de/6Iceland.html>).

Wilder, W.; Lima, E.F. Rochas Vulcanogênicas Antigas: gênese, ambientes e identificação. s.n.t. (inédito).

Willians, H.; Turner, F. J., Gilbert, C. M. Petrografia – Uma introdução ao Estudo das Rochas em Seções Delgadas. Ed. Polígono, 1970.

## **SITES**

<http://www.iceland.is/media/Country-Nature/islandskort1.pdf>

[http://domingos.home.sapo.pt/vulcoes\\_6.html](http://domingos.home.sapo.pt/vulcoes_6.html)

<http://autoracing.virgula.uol.com.br/forum/lofiversion/index.php/t47802.html>

<http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/>