



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
CENTRO DE CIÊNCIAS - CC
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – DEGEO

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS
DE FERRO DO TIPO SKARN NA REGIÃO CENTRO-ESTE DO
ARCO MAGMÁTICO DE SANTA QUITÉRIA/CE.**

**DARLYANE ROCHA DO NASCIMENTO
DÉBORA EZEQUIEL CAVALCANTI**

**ORIENTADOR
PROF. DR. CESAR D'ABRONZO MARTINELLI**

FORTALEZA

2014

**DARLYANE ROCHA DO NASCIMENTO
DÉBORA EZEQUIEL CAVALCANTI**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS DE FERRO
DO TIPO SKARN NA REGIÃO CENTRO-ESTE DO ARCO MAGMÁTICO DE
SANTA QUITÉRIA/CE.**

Monografia apresentada ao Curso de
Geologia do Centro de Ciência da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Geólogo(a).

Orientador: Prof. Dr. Cesar D'Abronzio
Martinelli

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Central do Campus do Pici

-
- N194m Nascimento, Darlyane Rocha do.
Mapeamento geológico e estudo das ocorrências de ferro do tipo skarn na região centro-este do arco magmático de Santa Quitéria/CE. / Darlyane Rocha do Nascimento, Débora Ezequiel Cavalcante. – 2014.
175 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2014.
Orientação: Prof. Dr. Cesar D’Abronzio Martinelli
1. Geologia estrutural. 2. Mármore. I. Cavalcanti, Débora Ezequiel. II. Título.

CDD 551

DARLYANE ROCHA DO NASCIMENTO
DÉBORA EZEQUIEL CAVALCANTI

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ESTUDO DAS OCORRÊNCIAS DE FERRO
DO TIPO SKARN NA REGIÃO CENTRO-ESTE DO ARCO MAGMÁTICO DE
SANTA QUITÉRIA/CE.**

Monografia apresentada ao Curso de
Geologia do Centro de Ciência da
Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Geólogo(a).

Aprovada em 17/03/2014

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cesar D'Abronzio Martinelli
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Tereza Falcão de Oliveira Neri
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Glória Maria Silva Hamelak
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ele criou o Céu e a Terra;

Criou as criaturas;

Criou a Natureza;

Criou tudo com perfeição;

Fez tudo belo aos olhos de quem consegue ver beleza;

Tudo leve às almas de quem tem leveza.

Ao criador do Universo.

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao meu Senhor Jesus Cristo, pois tenho certeza que só consegui chegar até aqui porque ele determinou. Em todos os momentos Ele está ao meu lado e cuida de cada detalhe da minha vida, e ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte eu não temeria mal algum.

Agradeço à minha Mãe, que sonhou esse sonho comigo e não me deixou fracassar, pelo simples fato de que se eu fracassasse, ela também fracassaria e isso me deu forças para prosseguir. Ela investiu tudo o que tinha e não tinha nos meus estudos, por isso se estou conseguindo essa vitória, eu devo grande parte a ela, minha mãezinha. Amo vocês mais que Tudo.

Agradeço também à minha família, meu pai, meu irmão e minha irmã que são essenciais em minha vida. Sem vocês eu não seria quem eu sou. Obrigada pelo apoio e por acreditarem em mim. Agradeço ao Senhor pela família que me deu.

Agradeço às minhas grandes amigas e irmãs, Débora, Úrsula e Robênia. Queridas, vocês foram anjos que o Senhor me enviou e me deu a honra de conhecer para que eu conseguisse suportar todos os obstáculos que existiram durante o curso. Vocês também foram um incentivo em vários momentos em que pensei em desistir. A nossa história foi escrita pelo dedo de Deus, pois um amor tão puro e incondicional assim só um amor dado por Deus. Obrigada por me aguentarem durante 6 anos. Amo vocês!

Agradeço ao meu esposo que entendeu as viagens de campo que foram tantas durante o curso e que me incentivou a prosseguir em diversos momentos difíceis.

Agradeço também aos meus colegas de turma, em especial ao meu querido amigo Bods (Jair), Allan, Diego, Ítalo, Marina e aos professores que foram de suma importância durante todo o curso.

Por fim, agradeço à Geologia, que ampliou, mudou e reafirmou a minha visão de vida. Através do conhecimento dela pude confirmar o que já acreditava que

esse mundo geologicamente tão perfeito não poderia surgir do acaso, mas só poderia ter sido criado por um ser superior e perfeito, com tal sabedoria que vai além do que possamos pensar ou imaginar. E esse ser é o Deus de Israel e de Jacó, é o Deus que enviou o seu filho unigênito para que todo aquele que nele crê não pereça, mas tenha a vida eterna.

Obrigada ao meu orientador Prof. Dr. Clóvis, por me ensinar tanto.

Darlyane Rocha do Nascimento.

Agradeço ao criador dos Céus e da Terra, pois Ele esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me guiando e ensinando, me mostrando o melhor caminho a seguir, trazendo paz e luz aos meus dias. Obrigada por ter feito tudo tão perfeito e por me permitir enxergar tanta beleza.

Agradeço à minha mãe, Maria Luzia, que sempre fez tudo por mim, que me apoiou em todas as minhas escolhas, graças à ela eu estou aqui realizando esse sonho.

Agradeço ao meu pai, Flávio, que me ensinou grandes coisas sobre a vida e sobre as pessoas. Pai, o senhor é uma das pessoas que mais admiro, é a pessoa mais inteligente que eu conheço. Ensinou-me sobre a liberdade, sobre as escolhas que fazemos e suas consequências, sobre a simplicidade, sobre as belezas da vida. Ensinou-me o valor de um livro, de uma árvore, de um pássaro. Por ser quem o senhor é, obrigada!

Agradeço à minha irmã, amiga e cúmplice de travessuras, Júlia Mariana. Obrigada por existir em minha vida e obrigada por colocar em minha vida um anjo chamado Gabriel!

Agradeço à minha grande amiga e irmã, Cecília. Obrigada por me aguentar no meu melhor e no meu pior, por tudo o que já vivemos e pelo que ainda vamos viver. Com você tudo tem mais graça!

Agradeço aos meus familiares, Vilani, Xisto e Valdênia (maninha).

Obrigada às integrantes do quarteto fantástico: Darlyane, Robênia e Úrsula, com vocês eu vivi os momentos mais felizes de minha vida, as maiores aventuras, os maiores apuros, as travessuras mais sem noção, as mais diversas experiências, os meus maiores aprendizados. Obrigada por vocês colorirem a minha vida, que antes de vocês era em preto e branco!

Obrigada ao meu orientador Prof. Dr. Clóvis, por me ensinar tanto e ser tão paciente comigo.

Obrigada a todos os professores do Departamento de Geologia - UFC, pelos ensinamentos ao longo da graduação, em especial aos professores (as) Cesar Martinelli, Christiano, Tereza e Glória, pelas orientações no Relatório de Graduação.

Agradeço à todos os colegas de graduação da UFC, em especial ao Ítalo, que me ensinou muito sobre muitas coisas e por ter sido um grande companheiro de aventuras, viagens e "viagens", ao Allan, por ser sempre tão paciente comigo e pela ajuda prestada diversas vezes, ao Jair, querido Bodão companheiro de campo e de aventuras, ao Dilano, à Vânia e ao Valmir, por terem me ajudado inúmeras vezes.

Agradeço à fadinha Marina, por me aguentar todos os dias com todas as minhas manias e loucuras. Ao meu querido e iluminado amigo Breninho, esse anjo de luz que apareceu em meu caminho. Ao meu querido amigo Vini, pelas conversas iluminadoras e engrandecedoras, por me entender!

Obrigada à todos que de alguma maneira contribuíram para o meu sucesso nessa longa caminhada.

Agradeço aos guerreiros do nosso sofrido, porém lindo Sertão, essas pessoas que têm sido castigadas com a seca e que são tão guerreiras apesar das dificuldades, desejo a vocês muita força, luz e chuvas!!

Débora Ezequiel Cavalcanti.

Acontecimento

*Haverá na face de todos um profundo assombro
na face de alguns risos sutis cheios de reserva
Muitos se reunirão em lugares desertos
E falarão em voz baixa em novos possíveis milagres
Como se o milagre tivesse realmente se realizado
Muitos sentirão alegria
Porque deles é o primeiro milagre
E darão o óbolo do fariseu com ares humildes
Muitos não compreenderão
Porque suas inteligências vão somente até os processos
E já existem nos processos tantas dificuldades...
Alguns verão e julgarão com a alma
Outros verão e julgarão com a alma que eles não têm
Ouvirão apenas dizer...
Será belo e será ridículo
Haverá quem mude como os ventos
E haverá quem permaneça na pureza dos rochedos
No meio de todos eu ouvirei calado e atento, comovido e risonho
Escutando verdades e mentiras
Mas não dizendo nada
Só a alegria de alguns compreenderem bastará
Porque tudo aconteceu para que eles compreendessem
Que as águas mais turvas contêm às vezes as pérolas mais belas*

Vinicius de Moraes

“Quando a gente anda sempre para frente, não pode mesmo ir longe”

O Pequeno Príncipe

RESUMO

A área de estudo está inserida na porção oeste do município de Santa Quitéria, abrangendo uma área de 65 Km², a centro-oeste do Domínio Ceará Central da Província Borborema. O mapeamento em escala de detalhe 1:25.000 foi realizados em diversas localidades, tais como Santo Antônio, Fazenda Nova Virgínia e Fazenda Crispim, com objetivo de descrever os litotipos mais representativos, bem como suas mineralizações, e também realizar a caracterização estrutural, petrográfica e mineralógica das rochas observadas na área. A configuração estrutural desta região é marcada pela existência de significativos sistemas de zonas de cisalhamento de caráter dúctil, e com orientações NE-SW, NNE-SSW e E-W, marcadas por alinhamentos de grande expressão geográfica, caracterizados como uma rede de falhas transcorrentes desenvolvidas durante a atuação da orogênese Brasiliana. Rochas supracrustais, tais como mármore e rochas metabásicas, gnaisses migmatíticos, rochas calcissilicáticas e granitóides foram submetidas a um primeiro evento deformacional/metamórfico, onde estes foram parcialmente fundidos e foram geradas as feições do tipo bandamentos, foliações, lineações e dobras, seguido por diversos eventos de intrusões graníticas de baixo ângulo e alto ângulo (cavalgamentos/trancorrências). Esse pacote foi submetido a um segundo evento deformacional / metamórfico, onde foram geradas feições rúpteis tais como fraturas, zonas de cisalhamento e falhas. Durante a orogênese plútons graníticos intrudiram nas sequências de rochas calcissilicáticas e carbonáticas, resultando em auréolas de metamorfismo de contato, onde fluidos tardios deram origem às rochas do tipo *skarn*. Mineralizações de ferro observadas na área estão, provavelmente, associadas a esses *skarns*. Foram observadas ainda mineralizações de manganês, cuja origem ainda é desconhecida. O grau de metamorfismo predominante corresponde ao fácies anfíbolito médio-superior, seguido por retrometamorfismo correspondente ao fácies xisto verde. Os estudos confirmaram a presença de alguns minerais de interesse econômico tais como, ferro e manganês, porém estes não foram considerados economicamente viáveis. Diante desse cenário, a área de estudo é formada pela associação de rochas supracrustais, rochas calcissilicáticas, gnaisses migmatíticos, granitóides, *skarns*, algumas mineralizações de ferro do tipo *skarn* e mineralizações de manganês.

Palavras-chave: *Skarn*, Arco Magmático de Santa Quitéria, rochas supracrustais.

ABSTRACT

The study area is within the western portion of the municipality of Santa Quitéria, covering an area of 65 km², the central-western Ceará Central Domain Borborema Province. The mapping at 1:25,000 scale detail was carried out in various locations, such as Santo Antônio, Virginia and New Farm Farm Crispim, aims to describe the most representative rock types and their mineralization, and also perform structural, petrographic and mineralogy of the rocks observed in the area. The structural configuration of this region is marked by the existence of significant systems of ductile shear zones character, and with directions NE-SW, NNE-SSW and EW alignments marked by large geographical expression, characterized by Vauchez et al. (1995) as a network of strike-slip faults developed during the performance of the Brasiliano orogeny. Supracrustal rocks such as marble and metabasic rocks, migmatitic gneisses, granitoids and calcissilicate rocks were subjected to a first deformational / metamorphic event, where they were partially fused and features the type banding, foliation, lineation and folds were generated, followed by several events granitic intrusions of low angle and high angle (thrust / transcorrências). This package was submitted to a second deformational / metamorphic event, which features such as brittle fractures, shear zones and faults were generated. During the granitic plutons intruded in orogênese sequences calcissilicates and carbonate rocks, resulting in halos of contact metamorphism, which later gave rise to the fluids of the skarn type rocks. Iron mineralization observed in the area are probably associated with these skarns. Manganese mineralization yet, unknown origin were observed. The predominant degree of metamorphism corresponds to the mid-upper amphibolite facies, followed by corresponding to the greenschist facies metamorphic. Studies have confirmed the presence of some economically important minerals such as iron and manganese, but these were not considered economically viable. Given this scenario, the study area is formed by the association of supracrustal rocks, calcissilicáticas rocks, migmatitic gneisses, granitoids, skarns, some mineralization of iron skarn type mineralization and manganese.

Keywords: Skarn, Santa Quitéria Arc Magmatic, supracrustal rocks.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas da área de estudo.....	28
Tabela 2: Resultado para o alvo 1.	134
Tabela 3: Resultado para o alvo 2.	134
Tabela 4: Resultado para o alvo 3.	134
Tabela 5: Resultado para o alvo 4.	135
Tabela 6: Resultado para o alvo 1.	139
Tabela 7: Resultado para o alvo 2.	139
Tabela 8: Resultado para o alvo 1.	142
Tabela 9: Resultado para o alvo 2.	142
Tabela 10: Resultado para o alvo 1.	145
Tabela 11: Resultado para o alvo 2.	146
Tabela 12: Resultado para o alvo 3.	146
Tabela 13: Resultado para o alvo 4.	146
Tabela 14: Resultado para o alvo 1.	152
Tabela 15: Resultado para o alvo 2.	152
Tabela 16: Resultado para o alvo 3.	152
Tabela 17: Resultado para o alvo 4.	152
Tabela 18: Resultado para o alvo 7.	153
Tabela 19: Resultado para o alvo 8.	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Área de estudo em relação ao Estado do Ceará.	29
Figura 2: Ângulo de incidência 0°, ressaltando estruturas E-W.	31
Figura 3: Composição RGB com realce de ferro.....	32
Figura 4: Mapa temático referente aos aspectos climáticos do estado do Ceará,	37
Figura 5: Mapa temático referente ao reconhecimento de solos do estado do Ceará,	38
Figura 6: Mapa temático do modelo digital de elevação do terreno do estado do Ceará,	39
Figura 7: Mapa temático referente às unidades fitoecológicas do estado do Ceará,	41
Figura 8: Mapa temático referente às bacias hidrográficas do estado do Ceará, destacando a área de estudo.....	42
Figura 9: Reconstrução de parte do Gondwana Oeste, mostrando as principais massas cratônicas em amarelo e as faixas móveis em laranja. As zonas de sutura brasileiras/pan-africanas são marcadas pelas linhas pretas. LA= lineamento Adamaoua, FB= Faixa Brasília; LPA = Lineamento Patos, LPE = Lineamento Pernambuco, FS = Faixa Sergipana, LS = Lineamento Sanaga, CSL = Cráton SãoLuiz, LSP = Lineamento Senador Pompeu, TSFB = Cinturão de dobramento Transbrasiliano, (Modificado de Fetter, 1999).....	45
Figura 10: Mapa esquemático da porção norte da Província Borborema com as principais estruturas e domínios tectônicos (modificado de Fetter et al., 2003).	46

Figura 11: Limites do Domínio Ceará Central (DCC); a oeste (ZSC) Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II (Lineamento Trasbraziliano) e a leste (ZSCP) Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.	48
Figura 12: Mapa geológico regional de Santa Quitéria - Ce. Fonte: Folha Quixadá CPRM 2013, com escala 1:180.000.	54
Figura 13: Rocha calcissilicática apresentando coloração esverdeada e granulação média. UTM: 362917 / 9518452.	56
Figura 14: Dobras similares observadas nas rochas calcissilicáticas.	57
Figura 15: Outro aspecto dos dobramentos similares observado nas rochas calcissilicáticas. UTM: 361525 / 9516769.	57
Figura 16: Rocha calcissilicática apresentando dobras que indicam um encurtamento e cisalhamento. UTM: 361525 / 9516769.	58
Figura 17: Rocha calcissilicática recortada por veios com espessura milimétrica de calcita. UTM: 361395 / 9516205.	58
Figura 18: Contato da Rocha calcissilicática com granito leucocrático.	59
Figura 19: Rocha calcissilicática cortada por diques de granito leucocrático em várias direções. UTM: 364077 / 9516598.	60
Figura 20: Mármore de coloração branca, mosqueado, marcado por ou fragmentos angulosos escuros de rocha metapelítica de dimensões milimétrica a centimétrica, em meio a matriz carbonática recristalizada. UTM: 361572 / 9516852.	61
Figura 21: Mármore apresentando foliação milonítica anastomosada da ordem 325°/60° (clar). UTM: 361572 / 9516852.	61
Figura 22: Mármore com minerais ferro-magnesianos orientados segundo um plano preferencial em uma matriz carbonática recristalizada e nódulos silicosos preenchendo fraturas UTM: 361572 / 9516852.	62

Figura 23: Mármore com minerais ferro-magnesianos orientados, formando um bandamento em meio a uma matriz carbonática recristalizada. UTM: 361485 / 9516771.....	63
Figura 24: Mármore com segregação e concentração de minerais ferro-magnesianos em uma matriz carbonática recristalizada. UTM: 361572 / 9516852.....	63
Figura 25: Mármore com coloração cinza, textura granoblástica, granulação grossa e finos veios de calcita. UTM: 362220 / 9519269.....	64
Figura 26: Mármore apresentando-se como corpo lenticular e mostrando feições cársticas devido à percolação de água. UTM: 362220 / 9519269.	65
Figura 27: Mármore branco com megacristais de calcita neoformados e/ou recristalizados com tamanho que varia de milimétricos a centimétricos. UTM: 361740 / 9515968.	66
Figura 28: Rocha metabásica anfibolitizada, apresentando coloração cinza escuro e textura granoblástica. UTM: 361735 / 9515963.....	67
Figura 29: Afloramento in situ em forma de lajedo, demonstrando sua extensão. UTM: 364732/9515683.	67
Figura 30: Migmatito apresentando um microbandamento diferenciado, definido pela alternância de faixas melanossomáticas e leucossomáticas de espessura centimétrica. UTM: 364732/9515683.	68
Figura 31: Migmatito apresentando bandamento marcado por dobras isoclinais fechadas. UTM: 364732/9515683.....	69
Figura 32: Migmatitos apresentando injeções apolíticas quartzo feldspáticas deformadas segregações irregulares de biotita, feição denominada franja biotítica, que são típicas de granitos crustais. UTM: 364732 / 9515683.	70
Figura 33: Xenólito de gnaissé-migmatítico englobado por uma porção granítica. UTM 364732/9515683.....	70

Figura 34: Biotita-granodiorito de coloração cinza, apresentando estrutura maciça, granulação média a grossa, sendo composto essencialmente por biotita, quartzo, K-feldspato, plagioclásio e muscovita. UTM: 0362711 / 9515112.....	73
Figura 35: Biotita restítica com estrutura do tipo schliere. UTM: 0362711 / 9515112.....	73
Figura 36: Porfiroblastos tardios de K-feldspato no granito. UTM 0362711 / 9515112.....	74
Figura 37: Afloramento de granito recortado por diques pegmatíticos com pórfiros de K-feldspato. UTM: 0362711 / 9515112.....	75
Figura 38: Granito leucocrático, com coloração branca, textura porfirítica, composto essencialmente por quartzo e plagioclásio. UTM: 361365 / 9516279.	76
Figura 39: Granito leucocrático com orientação dos cristais de quartzo. UTM: 361365 / 9516279.....	77
Figura 40: Granito leucocrático em contato com as rochas calcissilicáticas. UTM: 361373 / 9516154.	77
Figura 41: Contato do granito leucocrático com a rocha calcissilicática, sugerindo brechas intrusivas. UTM: 361373 / 9516154.....	78
Figura 42: Hornblenda-granito, com granulação grossa, coloração branca com fenocristais de anfibólios reliquiares. UTM: 361238 / 9512795.....	79
Figura 43: Skarn apresentando coloração esverdeada, com porfiroblastos de granada, e granulação média a grossa. UTM: 362676 / 9517912.....	81
Figura 44: Exoskarns ocorrendo na área sob a forma de blocos e matacões. UTM: 362676 / 9517912.	81
Figura 45: Skarn apresentando porfiroblastos de granada e sendo recortado por finos veios de carbonatos. UTM: 362676 / 9517912.....	82

Figura 46: Exoskarn de coloração escura apresentando porfiroblastos de calcita. UTM: 362989 / 9514652.	82
Figura 47: Endoskarn apresentando coloração branca, granulação média a grossa, com porfiroblastos de diopsídio. UTM: 362040 / 9518979.	83
Figura 48: Afloramento de ferro e manganês, sob a forma de blocos soltos ocupando uma área de pequena extensão. UTM: 363307 / 9516353.	Erro! Indicador não definido.
Figura 49: Minério de ferro identificado como magnetitito maciço. UTM: 361980 / 9517486.	85
Figura 50: Afloramento de magnetitito maciço na forma de fragmentos irregulares e centimétricos. UTM: 361980 / 9517486.	85
Figura 51: Minério de ferro do tipo chapéu de ferro (gossan). UTM: 362308 / 9516115.	86
Figura 52: Afloramento de fragmentos irregulares e centimétricos de minério de ferro do tipo gossan em meio a blocos de quartzo. UTM: 362308 / 9516115. ...	86
Figura 53: Afloramento de minério de manganês e magnetititos associados, em forma de blocos soltos. UTM: 363307 / 9516353.	87
Figura 54: Foliação no granitoide resultado da orientação preferencial dos minerais ferro-magnesianos. UTM: 364739 / 9515664.	Erro! Indicador não definido.
Figura 55: Foliação no mármore resultado da orientação preferencial dos minerais ferro-magnesianos. UTM: 361572 / 9516850.	Erro! Indicador não definido.
Figura 56: Estiramento mineral dos cristais de quartzo. UTM. 361365 / 9516279.	Erro! Indicador não definido.

- Figura 57: Granito porfirítico extremamente deformado por cisalhamento dúctil, apresentando indicadores cinemáticos de transcorrência dextral. UTM: 364280/9516815. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 58: Dobra em Chevron na rocha calcissilicática. UTM: 361525 / 9516769. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 59: Dobra em S na rocha calcissilicática marcada por cisalhamento dextral. UTM: 361525 / 9516769. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 60: Sistema de fraturas no granitóide. UTM 360653 / 9516922. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 61: Diques pegmatíticos no granitoide. UTM 362711/9515112. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 62: Camada pelítica extremamente deformada, rompida e dobrada, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X). 90
- Figura 63: Microlamelas de biotita intensamente dobradas, bordejadas por agregados lenticularizados de opacos dispostos de maneira descontínua, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X). 90
- Figura 64: Material ferroso percolando e preenchendo clivagens no mármore, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X). 91
- Figura 65: Cristal de calcita apresentando clivagem perfeita em duas direções, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X). 92
- Figura 66: Dolomita bordejada por cristais de opacos, provavelmente siderita, observado no microscópio à luz natural polarizada (10X). 92
- Figura 67: Níveis pelíticos interrompidos, deformados, dobrados, envolvendo uma foliação anastomosada, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X). 93
- Figura 68: Porfiroblastos de carbonato envolvidos por uma massa de granulação mais fina, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X). 94

Figura 69: Porfiroblastos de diopsídio, onde é possível observar que alguns desses porfiroblastos envolvem cristais de dolomita, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	95
Figura 70: Textura granoblástica da rocha, indicando que a mesma foi recristalizada no fácies anfíbolito, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).....	96
Figura 71: Micro cisalhamento na rocha metabásica, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	96
Figura 72: Titanita envolvendo cristais de opacos, indicando provavelmente que o opaco está se alterando para titanita, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	97
Figura 73: Inclusões de opacos preenchendo planos de clivagem no anfibólio (chatter inclusos), observada à luz natural polarizada (10X).	98
Figura 74: Cristais de clinopiroxênio alterando para hornblenda, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).	99
Figura 75: Cristais de clinopiroxênio alterando para hornblenda, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	99
Figura 76: Cristais de hornblenda apresentando coloração castanho, hábito prismático e clivagem perfeita, obseravada no microscópio à luz natural polarizada (10X).....	100
Figura 77: Cristais de actinolita apresentando hábito fibroso, coloração verde escuro, clivagem bem desenvolvida e alta birrefringência, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	100
Figura 78: Hornblenda recristalizada em agregados poligonais, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).	101
Figura 79: Cristais de hornblenda incorporando cristais de plagioclásio, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	101

Figura 80: Cristais de hornblenda alterando para actinolita, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).	102
Figura 81: Cristais de hornblenda alterando para actinolita, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	102
Figura 82: Cristais de plagioclásio bem definidos, euedrais, indicando sua origem magmática, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	103
Figura 83: Plagioclásio de granulação poligonal com Ângulo de aproximadamente 120° entre si, feição essa típica de recristalização indicando que é metamórfico, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	104
Figura 84: Cristal de plagioclásio prismático, alongado, com tamanho de aproximadamente 1mm, com inclusão de CPx, geminações Carlsbad e polissintética ao mesmo tempo, feições essas típica de plagioclásio magmático, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	104
Figura 85: Cristais de plagioclásio tabulares, observados em microscópio à luz polarizada, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).	105
Figura 86: Carbonato preenchendo os espaços entre os cristais de plagioclásio em um evento mais tardio associado às alterações, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	106
Figura 87: Presença de periclina na massa carbonática, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	106
Figura 88: Clorita apresentando extinção em leque, indicando ser secundária (neoformada), apresentando birrefringência alta e epidoto associado à clorita, apresentando birrefringência mais elevada, sendo provavelmente resultado da alteração do anfibólio, observada no microscópio à luz ortoscópica.	107
Figura 89: Presença de cristais de rutilo inclusos no anfibólio, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).	108

Figura 90: Cristais de apatita e zircão, classificados como minerais acessórios, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	108
Figura 91: Fraturas preenchidas por plagioclásio albitico recortando a rocha calcissilicática. observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	109
Figura 92: Porfiroblastos de diopsídio apresentando birrefringência alta, distribuídos de maneira homogênea ao longo da rocha, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).	110
Figura 93: Cristais de tremolita de hábito prismático, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).	110
Figura 94: Cristais de titanita apresentando hábito eudral e relevo alto, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).....	111
Figura 95: Inclusões de humita nos cristais de Cpx, apresentando birrefringência alta, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).	111
Figura 96: Cristais de biotita com hábito subeudral e clivagem perfeita em uma direção, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	112
Figura 97: Cristais de biotita alterando para muscovita, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).	113
Figura 98: Cristais de muscovita apresentando hábito lamelar, relevo fraco e birrefringência alta, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	113
Figura 99: Inclusões de quartzo nos cristais de biotita, observadas no microscópio à luz natural polarizada (10X).	114
Figura 100: Inclusões de quartzo nos cristais de biotita, observadas no microscópio à luz ortoscópica (10X).	114
Figura 101: Cristal de zircão apresentando hábito prismático e relevo muito alto, observado no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	115

Figura 102: Cristal de zircão apresentando hábito prismático, relevo muito alto e birrefringência muito alta, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).	115
Figura 103: Lamelas de biotita e cristais de apatita no biotita-granodiorito, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	117
Figura 104: Cristal de biotita alterada associada à cristais de opacos, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	117
Figura 105: Lamelas de muscovita apresentando clivagem perfeita, associada à biotita, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	118
Figura 106: Lamelas de muscovita apresentando birrefringência alta, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).	118
Figura 107: Cristais de K-feldspato apresentando início de microclinização, além de inclusões de plagioclásio, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).	119
Figura 108: Microclina tardia associada ao plagioclásio, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	120
Figura 109: Inclusão de quartzo arredondado no cristal de plagioclásio com geminação polissintética, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).	120
Figura 110: Porfiroblastos de hornblenda apresentando recristalização poligonal, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).	121
Figura 111: Cristais de granada, escapolita, clinopiroxênio, plagioclásio e titanita no exoskarn, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).	122
Figura 112: Cristais de diopsídio inclusos na hendebergita, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).	123

Figura 113: Cristais de granada e clinopiroxênio apresentando recristalização poligonal, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).	124
Figura 114: Cristais de granada e clinopiroxênio apresentando recristalização poligonal, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).	124
Figura 115: Exoskarn com presença de humita, carbonato e granada, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).....	125
Figura 116: Exoskarn com presença de humita, carbonato e granada, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).....	125
Figura 117: Exoskarn com granada, escapolita e Cpx, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).	126
Figura 118: Exoskarn com granada, escapolita e Cpx, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).	126
Figura 119: Cristal de quartzo subarredondado incluso no plagioclásio, observado no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	127
Figura 120: Cristais de plagioclásio subarredondados como inclusões no clinopiroxênio, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).	128
Figura 121: Geminação do tipo microclima no K-feldspato, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).	128
Figura 122: Cristais de clinopiroxênio apresentando coloração esverdeada, clivagem perfeita, e relevo alto, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).....	129
Figura 123: Inclusões de cristais de titanita idiomórficos no plagioclásio, observadas no microscópio à luz ortoscópica (10X).....	130
Figura 124: Inclusões de cristais de titanita no clinopiroxênio, observadas no microscópio à luz natural polarizada (10X).	130
Figura 125: Cristais de apatita e zircão no endoskarn, classificados como	131

Figura 126: Cristais de zoisita na forma de agregados granulares inclusos no plagioclásio, apresentando relevo alto e birrefringência alta, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).	132
Figura 127: Alvo 1 representando uma fase enriquecida em Fe.....	136
Figura 128: Alvo 2 representando cristais de quartzo.....	136
Figura 129: Alvo 3 representando cristais de bismuto.	136
Figura 130: Alvo 4 representando cristais enriquecidos em cobre.....	137
Figura 131: Elementos detectados no alvo 1.....	137
Figura 132: Elementos detectados no alvo 2.....	137
Figura 133: Elementos detectados no alvo 3.....	138
Figura 134: Elementos detectados no alvo 4.....	138
Figura 135: Mapa de elementos da amostra RGJ-67.C.....	139
Figura 136: Alvo 1 representando um cristal de ferro.	140
Figura 137: Alvo 2 representando uma massa enriquecida em sílica.....	140
Figura 138: Elementos detectados no alvo 1.....	141
Figura 139: Elementos detectados no alvo 2.....	141
Figura 140: Mapa de elementos da amostra RGJ-70.	142
Figura 141: Alvo 1 representando uma massa enriquecida em ferro.....	143
Figura 142: O alvo 2 representa provavelmente um cristal de quartzo.....	143
Figura 143: Elementos detectados no alvo 1.....	144
Figura 144: Elementos detectados no alvo 2.....	144
Figura 145: Mapa de elementos da amostra DD-23.	145

Figura 146: Alvo 1 representando uma massa	147
Figura 147: Alvo 2 representando carbonato de cálcio.....	148
Figura 148: Alvo 3 representando cristal de bismuto.....	148
Figura 149: Alvo 4 representando talco.....	149
Figura 150: Elementos detectados no alvo 1.....	149
Figura 151: Elementos detectados no alvo 2.....	149
Figura 152: Elementos detectados no alvo 3.....	150
Figura 153: Elementos detectados no alvo 4.....	150
Figura 154: Mapa de elementos da amostra DD-14.A.....	151
Figura 155: Aspecto fibroso do talco.....	151
Figura 156: Alvo 1 representando cristal de calcita.....	154
Figura 157: Alvo 2 representando cristal de dolomita.....	154
Figura 158: Alvo 3 representando cristal de dolomita.....	154
Figura 159: Alvo 4 representando cristal com de ferro.....	155
Figura 160: Alvo 5 representando cristal de pirita.....	155
Figura 161: Alvo 6 representando cristal de dolomita.....	155
Figura 162:.....	156
Figura 163: Alvo 8 representando cristal de siderita.....	156
Figura 164: Mapa de elementos da amostra DD-09.B.....	158
Figura 165: Inclusões de calcita na dolomita e siderita bordejando a dolomita.	159

Figura 166: Condições de pressão e temperatura de formação dos minerais presentes em mármore dolomíticos. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 167: Reações de formação dos minerais de uma sequência isógrada de metamorfismo dos mármore dolomíticos. 162

Figura 168: Variação dos fluidos de acordo com a temperatura e CO₂..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 169: Zonação típica de skarns de acordo com o avanço dos fluidos. **Erro! Indicador não definido.**

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	26
1.1	Apresentação	26
1.2	Objetivos	27
1.3	Localização da Área de estudo	28
2	MATERIAIS E MÉTODO.....	30
2.1	Introdução	30
2.1.1	Etapa I – Etapa de Gabinete.....	30
2.1.2	Etapa II – Etapa de campo.....	33
2.1.3	Etapa III – Compilação dos dados	33
2.1.4	Etapa IV – Elaboração de relatório final.....	34
3	ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E FISIOGRÁFICOS	35
3.1	Aspectos Socioeconômicos	35
3.2	Aspectos Fisiográficos	36
3.2.1	Aspectos Climáticos.....	36
3.2.2	Pedologia Regional.....	38
3.2.3	Geomorfologia Regional	39
3.2.4	Vegetação.....	41
3.2.5	Recursos Hídricos.....	42
3.2.5.1	Águas Superficiais.....	42
3.2.5.2	Águas Subterrâneas – Domínios Hidrogeológicos	43
4	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	44
4.1	Introdução	44
4.2	A Província Borborema (PB).....	44
4.3	Arcabouço Tectônico da Província Borborema	47

4.4	Domínio Ceará Central (DCC)	47
4.4.1	Embasamento Arqueano	49
4.4.2	Terrenos Acrescionários Paleoproterozóicos.....	50
4.4.3	Cobertura Neoproterozóica - Metassedimentos.....	51
4.2.2.1	Complexo Ceara Central (Ppc).....	51
4.4.4	Complexo Tamboril-Santa Quitéria.....	52
5	GEOLOGIA LOCAL	55
5.1	Introdução	55
5.2	Complexo Ceará	55
5.2.1	Calcissilicática (CAL)	56
5.2.2	Mármore (MAR)	60
5.2.3	Anfibolito (ANF).....	66
5.3	Migmatitos (MIG).....	67
5.4	Granitóides.....	71
5.4.1	Introdução	71
5.4.2	Biotita-granodiorito (BGr)	72
5.4.3	Granito leucocrático (LGr).....	76
5.4.4	Hornblenda-granito (HGr)	78
5.5	Skarn (SKa).....	79
5.5.1	Introdução	79
5.5.2	Exoskarns	80
5.5.3	Endoskarns	83
5.6	Ocorrência de Ferro e Manganês	84
5.6.1	Introdução	84
5.6.2	Ocorrências de Ferro	84
5.6.3	Ocorrências de Manganês	87

5.7	Recursos Minerais	87
5.8	Conclusões	88
6	PETROGRAFIA	89
6.1	Introdução	89
6.2	Mármore.....	89
6.3	Anfibolito	95
6.4	Calcissilicática.....	109
6.5	Gnaisse Migmatítico.....	112
6.6	Granitóide	116
6.6.1	Introdução	116
6.6.2	Biotita-Granodiorito	116
6.6.3	Granito Leucocrático.....	119
6.6.4	Hornblenda–Granito.....	121
6.7	Skarn.....	122
6.7.1	Exoskarns	122
6.7.2	Endoskarns.....	127
6.8	Conclusões	132
7	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV	133
7.1	Introdução	133
7.2	Resultado das Análises Químicas Minerais – (MEV)	134
7.2.1	Ferro	134
7.2.2	Manganês	145
7.2.3	Mármore.....	152
7.3	Conclusões	159
8	METAMORFISMO.....	160
8.1	Introdução	160
8.2	Mármore.....	160

8.3	Calcissilicáticas e Skarns.....	163
8.4	Gnaiss Migmatítico.....	164
8.5	Anfibolito	165
8.6	Metamorfismo Regressivo	165
8.7	Conclusões	166
9	DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	167
10	BIBLIOGRAFIA.....	169

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O Arco Magmático de Santa Quitéria (AMSQ) definido por Fetter *et al.*, (2003) vem, nos últimos anos, sendo alvo de pesquisa mineral por diversas empresas com interesse em ferro. Essa ocorrência está associada às rochas ricas em granada e piroxênio, conhecidas como *skarns*, geradas pela interação entre um plutão granítico e rochas carbonatadas (Biondi, 2004).

O AMSQ está inserido no Domínio Ceará Central (DCC), localizado na porção setentrional da Província Borborema (PB), definida por Almeida *et al.*, (1981). Corresponde a um complexo anatético-ígneo formado sobretudo por migmatitos, preservando mega-enclaves de rochas calcissilicáticas e anfíbolitos. Esses migmatitos foram constituídos por grande volume de magmas tonalíticos a graníticos, com idades entre 637 Ma e 614 Ma (Fetter *et al.*, 2003, Castro 2004, Arthaud 2007.).

A diversidade de formas, tamanhos, idades e composições dos granitóides, associado à existência de inúmeras lentes de rochas calcissilicáticas, faz com que o potencial metalogenético do AMSQ seja bastante promissor para metais base como Fe, Cu, Au, Zn-Pb, W, Mo, Mn e Sn associados aos *Skarns*.

1.2 Objetivos

O objetivo do relatório de graduação envolve dois aspectos básicos: i) o Mapeamento Geológico de uma área de 65 Km² dentro do AMSQ; ii) o cumprimento das atividades curriculares para obtenção do título de Geólogo.

O objetivo proposto foi realizar o mapeamento geológico de uma área com aproximadamente 65 Km² no município de Santa Quitéria, no Estado do Ceará, na escala 1:25.000, envolvendo trabalhos de campo, interpretação e

integração de dados aerogeofísicos de imagens de Satélite e de Sensoriamento Remoto.

Nas áreas com maior probabilidade de haver presença de minério com possível interesse econômico, a escala do mapeamento foi de 1:25.000. Assim, pretendeu-se com este trabalho delimitar as principais faixas de rochas supracrustais desta região, que em contato com as rochas graníticas intrusivas do AMSQ tornam-se potencialmente favoráveis à concentração de ocorrências de Fe e/ou outros depósitos minerais.

1.3 Localização da Área de estudo

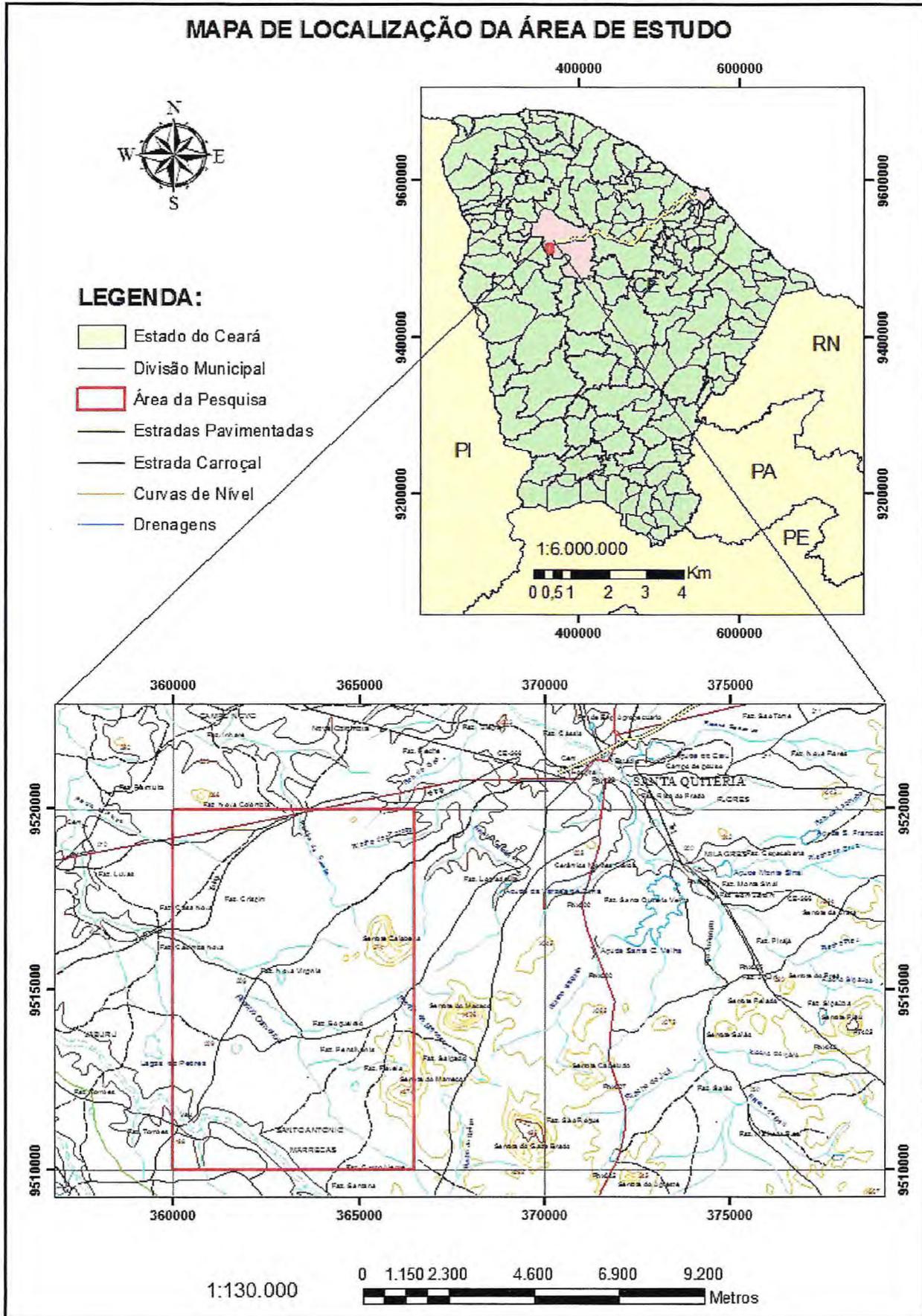
O município de Santa Quitéria situa-se na porção noroeste do estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Canindé, Sobral, Forquilha, Groaíras, Cariré, Varjota, Hidrolândia, Catunda, Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Madalena e Itatira, e compreende uma área de 3.780 km².

Esta área está inserida na folha topográfica da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE, Folha Santa Quitéria – SB.24-V-B-I (1:100.000), conforme planta de localização (Figura 1), em Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM e Datum Horizontal SAD - 1969, com precisão de 5 metros, cujo Ponto de Amarração é o próprio vértice 01, formando assim uma área de 04 lados, cujo memorial descritivo encontra-se descrito na tabela abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Coordenadas da área de estudo.

Vértice	Latitude	Longitude
01	360000	9520000
02	366500	9520000
03	366500	9510000
04	360000	9510000
01	360000	9520000

Figura 1: Localização da Área de estudo em relação ao Estado do Ceará.



2 MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Introdução

Este trabalho foi desenvolvido a partir de quatro etapas principais: Etapa I, denominada de etapa de gabinete; Etapa II, aquisição de dados em campo; Etapa III, compilação dos dados e Etapa IV, que consistiu na elaboração do relatório final.

2.1.1 Etapa I – Etapa de Gabinete

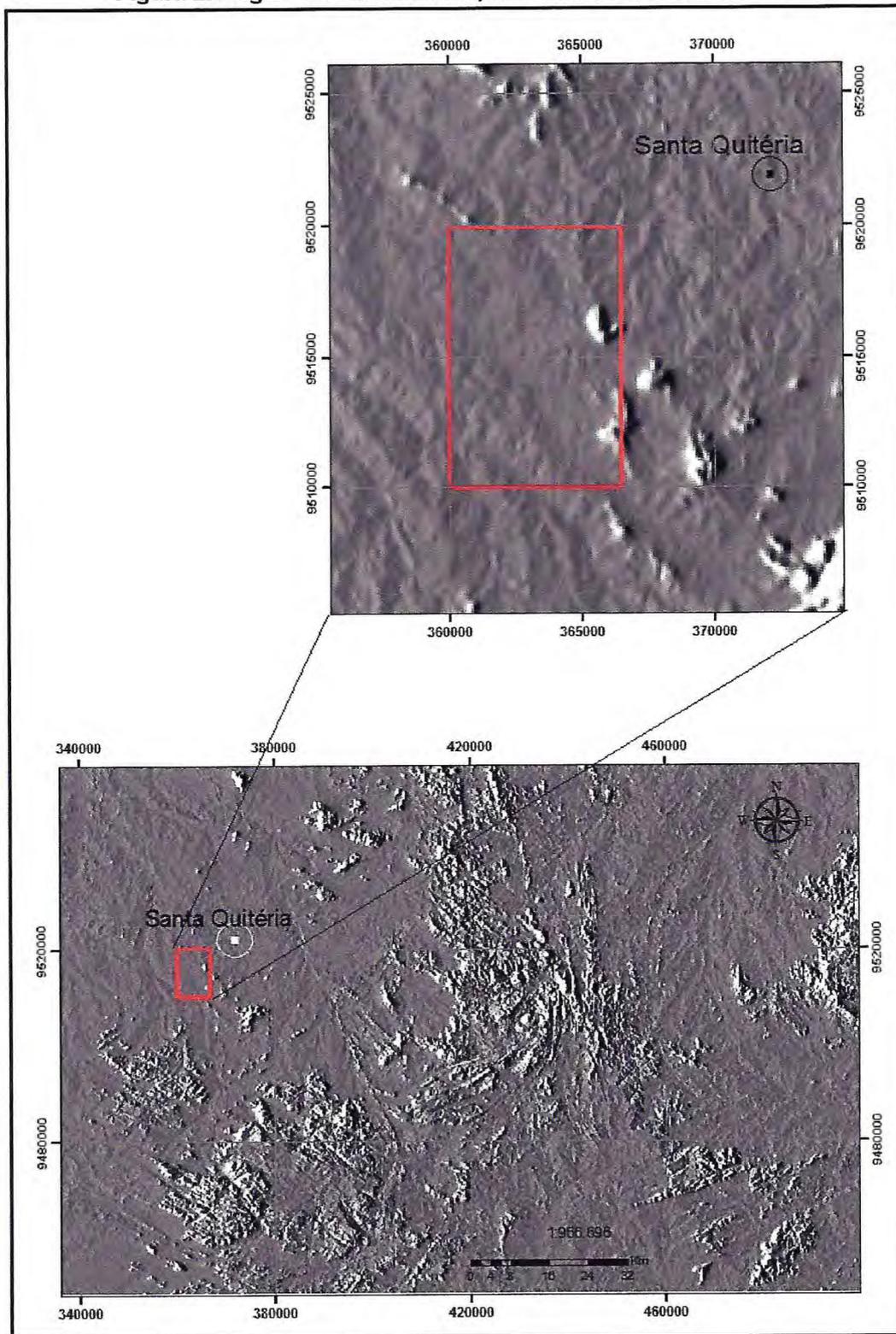
Nesta etapa, foi realizada uma revisão bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos na região de Santa Quitéria publicados em periódicos internacionais e nacionais, além de Dissertações de Mestrados e Teses de Doutorado e Relatórios Técnicos. A partir desses dados foi elaborado o texto sobre o contexto geológico regional.

Ainda nesta etapa foi confeccionado um mapa pré-campo, tendo como base a folha cartográfica de Santa Quitéria (SB-24-V-B-I), da SUDENE, na escala de 1:100.000, produzida pelo Ministério do Exército – Departamento de Engenharia e Comunicação/Divisão de Serviço Geográfico, além da base cartográfica do Projeto Mapeamento Geológico e Levantamento dos Recursos Minerais da Folha Quixadá realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

A utilização de imagens de satélite do acervo *Google Earth* contribuiu para a vetorização de drenagens, estradas e caminhos em ambiente SIG. As imagens do satélite LANDSAT 7 sensor ETM+ foram processadas por meio de técnica de Processamento Digital de Imagens (PDI), como a Técnica Crósta (Crosta *et al.*, 2003, Crosta e Moore, 1989) de Análise de Principais Componentes (APC) que contribuirá para o realce de áreas alvos com probabilidade de ocorrência de óxidos de ferro. Imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foram utilizadas para a extração de lineamentos

estruturais pelas técnicas de incidência da luz solar, em diferentes ângulos azimutais e de incidência, sobre as principais feições estruturais da área de estudo (Figura 2).

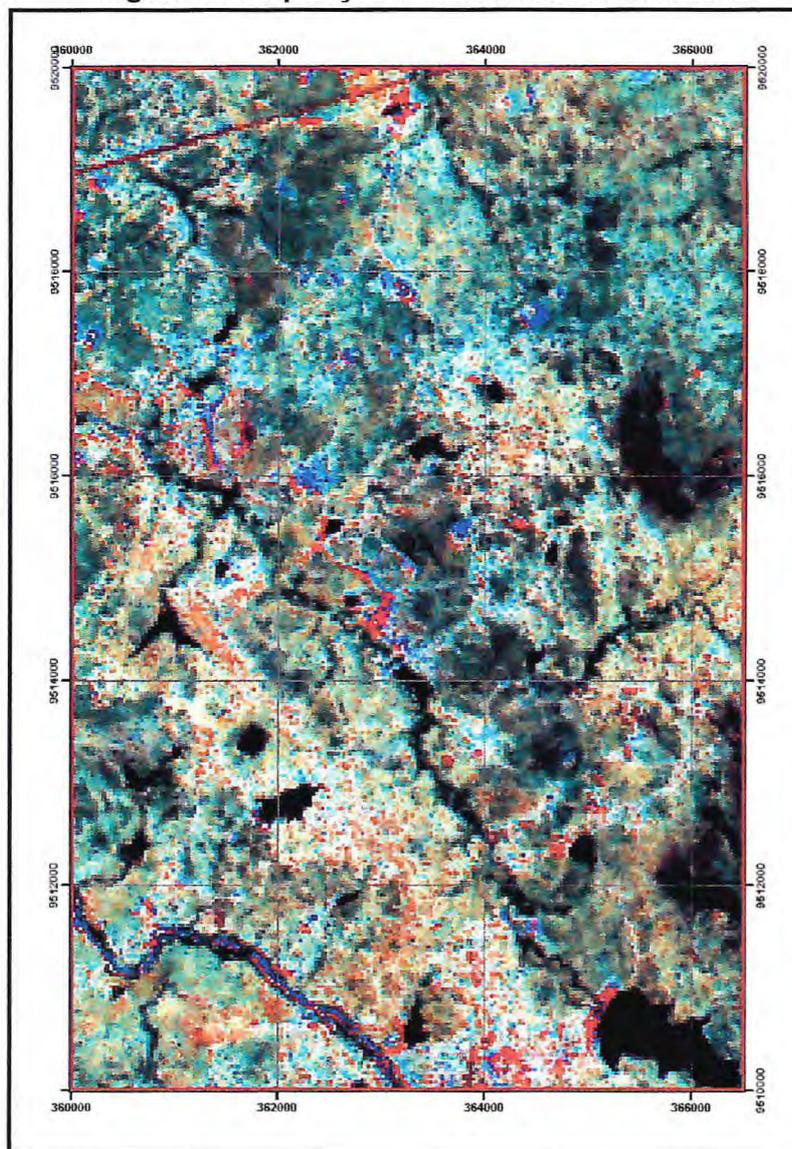
Figura 2: Ângulo de incidência 0°, ressaltando estruturas E-W.



O processamento digital de imagens foi realizado no software ENVI 4.8 ® através da ferramenta *principal components*. Foram escolhidos conjuntos de razões de bandas tais como R-PC4 (1457), G-PC4 (1457) + PC3 (1345) e B-PC3 (1345) para o realce de área com ocorrência de óxidos de ferro e hidroxila. Foram geradas imagens com diversas combinações entre essas razões de bandas, das quais algumas ressaltaram melhor a presença de ferro.

As áreas com *pixels* em cores intermediárias das cores RGB indicam uma maior probabilidade de presença de ferro, como as áreas em azul claro ou amareladas que realçam zonas mais enriquecidas em ferro e hidroxila (Figura 3).

Figura 3: Composição RGB com realce de ferro.



2.1.2 Etapa II – Etapa de campo

Três etapas de campo com duração de 5, 4 e 2 dias, respectivamente, foram suficientes para o levantamento de dados litológicos, estruturais e mapeamento. Realizou-se mapeamento geológico em escala 1:25.000 nos arredores das localidades de Santo Antônio, Fazenda Nova Virgínia e Fazenda Crispim, situados no município de Santa Quitéria, Estado do Ceará.

Durante esta etapa foram realizados perfis transversais às estruturas regionais, descrição petrográfica macroscópica das unidades aflorantes, delimitação dos contatos geológicos entre as unidades litoestratigráficas e coleta de amostras. Foram descritos 131 afloramentos e coletadas 116 amostras.

No final de cada etapa de campo foram elaborados mapas geológicos à mão que posteriormente foram vetorizados em ambiente SIG, no software ARCGIS ® durante a etapa seguinte.

2.1.3 Etapa III – Compilação dos dados

Esta etapa consistiu na integração dos dados levantados na etapa de gabinete e os dados obtidos em campo. Com isso foi elaborado o mapa geológico na escala 1:25.000, discriminando os litotipos e as sequências mapeadas, com as principais estruturas locais e ocorrências minerais com possível interesse econômico.

Com as amostras coletadas em campo, foram confeccionadas, no Laboratório de Confecção de Lâminas do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, e descritas 52 seções delgadas através do microscópio petrográfico de luz transmitida do Laboratório de Microscopia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará para a caracterização dos litotipos presente na área de estudo.

Foram escolhidas 7 seções delgadas para análises em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para a caracterização qualitativa e semi-quantitativa dos minerais de minérios e silicatos formadores de rocha das localidades de Santo Antônio, Fazenda Nova Virgínia e Fazenda Crispim. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia, Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará.

2.1.4 Etapa IV – Elaboração de relatório final

Esta etapa consistiu na integração e interpretação de todos os dados obtidos em campo e laboratório, tendo sido elaborado o mapa geológico local na escala 1:25.000 e o presente relatório.

3 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E FISIAGRÁFICOS

3.1 Aspectos Socioeconômicos

O município de Santa Quitéria faz parte da macrorregião do Sertão Central e situa-se na porção noroeste do estado do Ceará, limitando-se com os municípios de Canindé, Sobral, Forquilha, Groaíras, Cariré, Varjota, Hidrolândia, Catunda, Monsenhor Tabosa, Boa Viagem, Madalena e Itatira, e compreende uma área de 4.260 km². Se localiza a 222 Km da capital Fortaleza.

A população total de Santa Quitéria é de 42.763 habitantes (52,05 % moram na zona urbana e 47,95 % na zona rural). A cidade possui uma densidade demográfica de 10,04 hab./Km². Dentre os serviços públicos prestados pode-se citar o hospital geral, postos de saúde, centro de saúde, vigilância sanitária e o centro de atenção psicossocial.

O Sistema de Educação do município possui duas escolas estaduais e uma da rede privada, que oferecem ensino fundamental e médio. A taxa de analfabetismo da cidade é de 27,44% da população com 15 anos ou mais. Cerca de 41,31% da população de Santa Quitéria é considerada extremamente pobre, com renda per capita mensal de R\$ 70,00. Deste percentual, 50,46% reside na zona rural (IPECE, 2012).

Os meios de geração de emprego e renda do município se concentram nas atividades como construção civil, comércio, agropecuária, administração, indústria de transformação, extrativa mineral e serviços gerais.

As atividades econômicas desenvolvidas na área baseiam-se principalmente no setor primário, ou seja, na agricultura de subsistência, na pecuária e no extrativismo vegetal. O comércio é varejista e limita-se a comercialização de produtos agrícolas (gêneros alimentícios), artesanato regional, produtos industrializados provenientes de outros municípios, vestimentas e outros.

A principal atividade econômica reside na agricultura de subsistência de feijão, milho e mandioca, além das monoculturas de algodão, cana-de-açúcar, castanha de caju e frutas diversas. Na pecuária extensiva destacam-se criação de bovinos, ovinos, caprinos, suínos e aves. O extrativismo vegetal sobressai com fabricação de carvão vegetal, extração de madeiras diversas para lenha e construção de cercas, ou para confecção de inúmeros produtos e subprodutos provenientes de matérias-primas obtidas a partir de oiticica e carnaúba. O artesanato de redes e bordados é também difundido no município. A pesca para consumo doméstico é praticada em açudes locais. Na área de mineração cita-se a importante jazida de urânio associada a fosfato e mármore, que representam bens minerais estratégicos, de amplo uso agrícola, e rocha ornamental de grande aceitação no mercado externo. (CPRM, 1998).

Na jazida de fosfato e urânio de Itataia, em Santa Quitéria, CE, a Galvani em parceria com as Indústrias Nucleares do Brasil-INB (que ficará com o Urânio) pretende produzir 240.000 toneladas/ano de P_2O_5 a partir de 2013/2014. (DNPM, 2012).

3.2 Aspectos Fisiográficos

3.2.1 Aspectos Climáticos

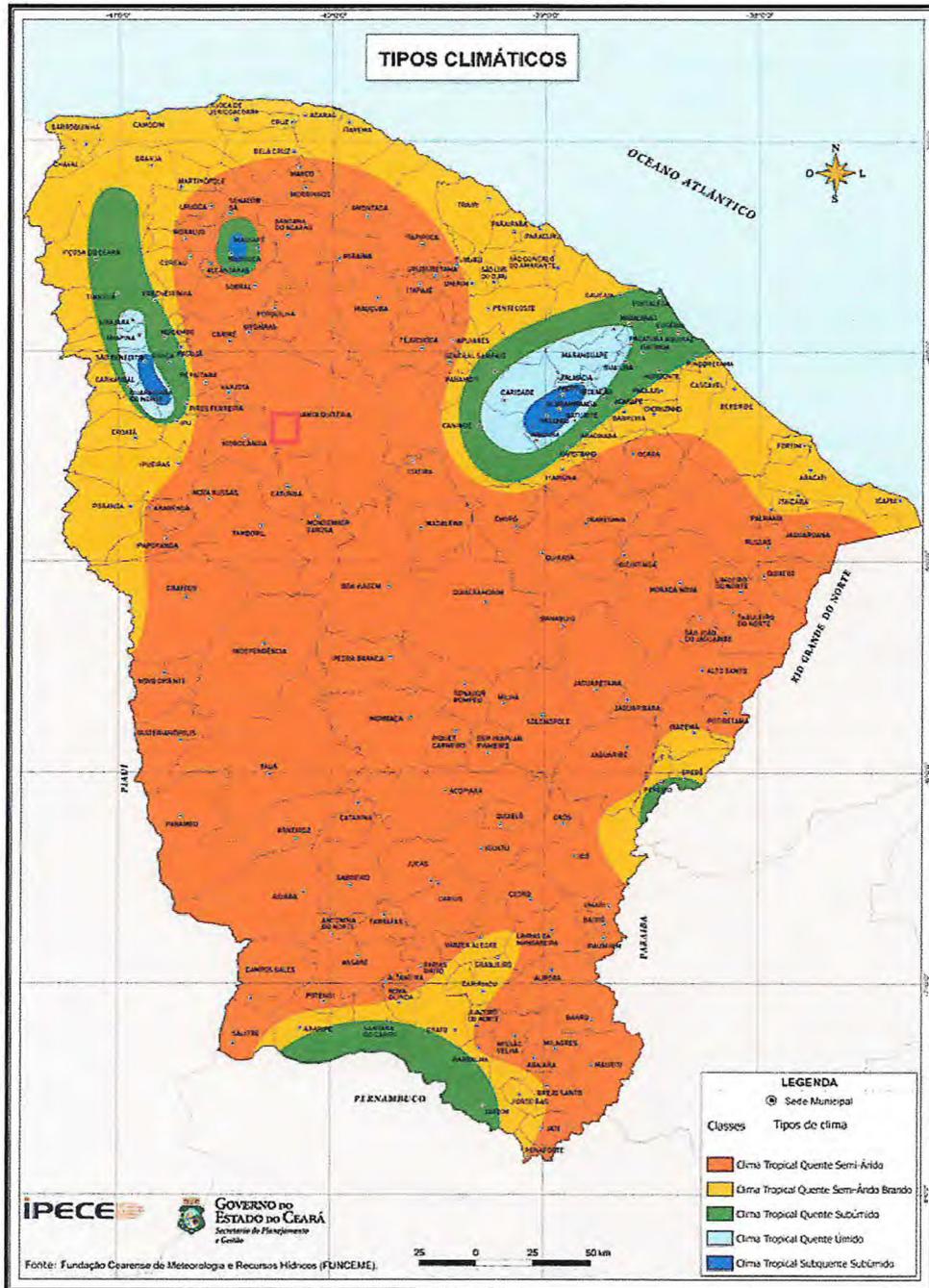
Segundo a classificação climática de Köppen (1948) em RadamBrasil-RB (1981), a área em estudo está enquadrada em uma região com clima do tipo Semi-Árido sujeita a períodos de estiagem e precipitações irregulares, com chuvas no verão e precipitações máximas no outono.

A umidade relativa do ar atinge uma média anual de 22,5%, com mínima mensal de 51,1% (setembro) e máxima de 70,4% (abril) e as taxas de evaporação ultrapassam os 1.600mm por ano, com o mínimo no mês de abril (85mm), e um máximo no mês de outubro (181,5mm).

O clima de Santa Quitéria é Tropical Quente Semi-árido, como pode ser observado no mapa temático abaixo (Figura 4), caracterizado por temperaturas

que variam de 19 °C (média das mínimas) a 29 °C (média das máximas). Apresenta uma precipitação pluviométrica média anual em torno dos 850 mm, sendo o período chuvoso de fevereiro a abril (IPLANCE, 1997) e (Plano Estadual de Recursos Hídricos-SRH-CE, 1992).

Figura 4: Mapa temático referente aos aspectos climáticos do estado do Ceará, destacando a área de estudo.

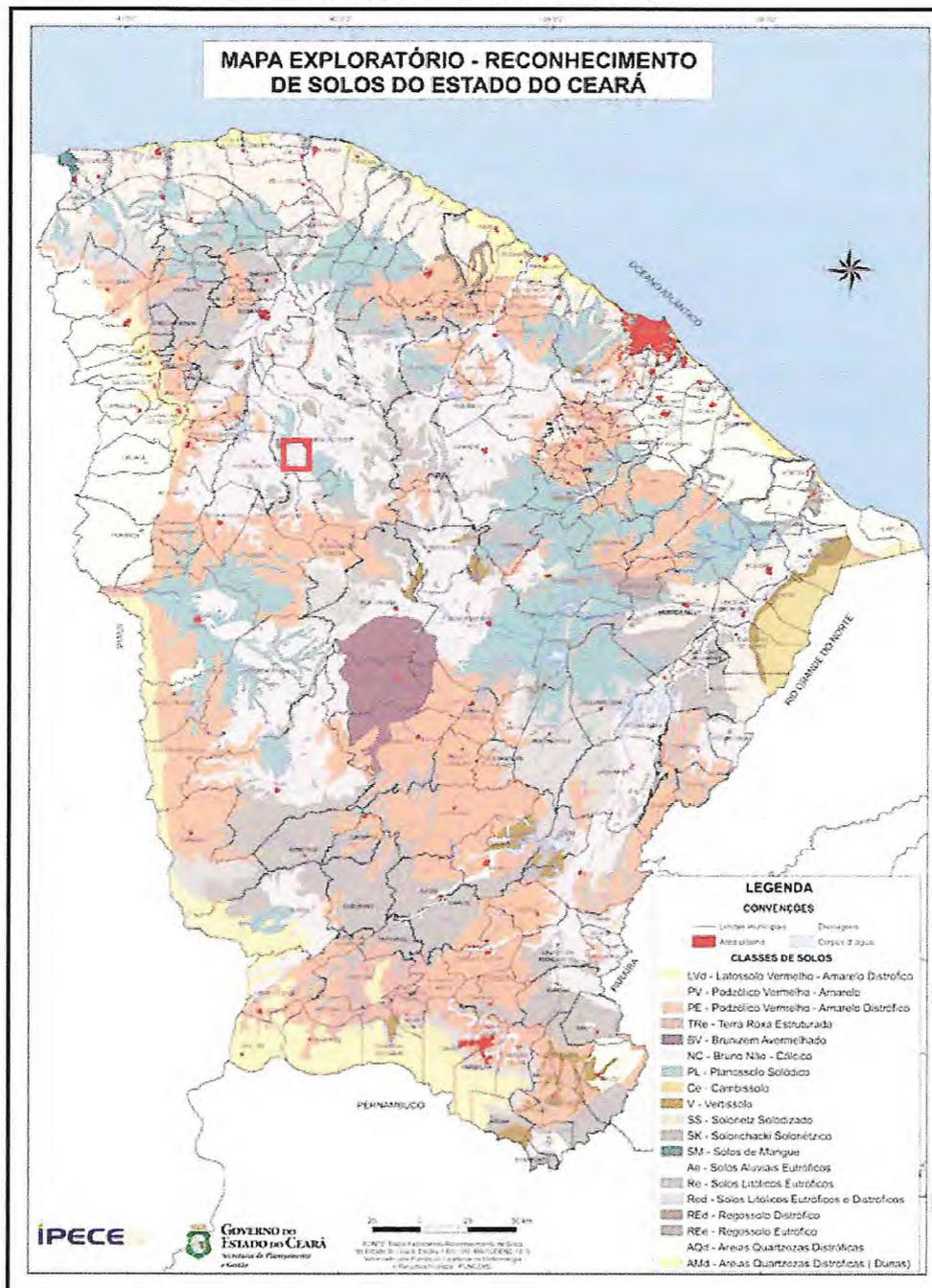


Fonte: IPECE 2007.

3.2.2 Pedologia Regional

Os solos registrados são Bruno não Cálxico, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico Vermelho-Amarelo e Regossolo, como pode ser observado no mapa temático de reconhecimento de solos do estado do Ceará com destaque da área de estudo. (Figura 5).

Figura 5: Mapa temático referente ao reconhecimento de solos do estado do Ceará, destacando área de estudo.

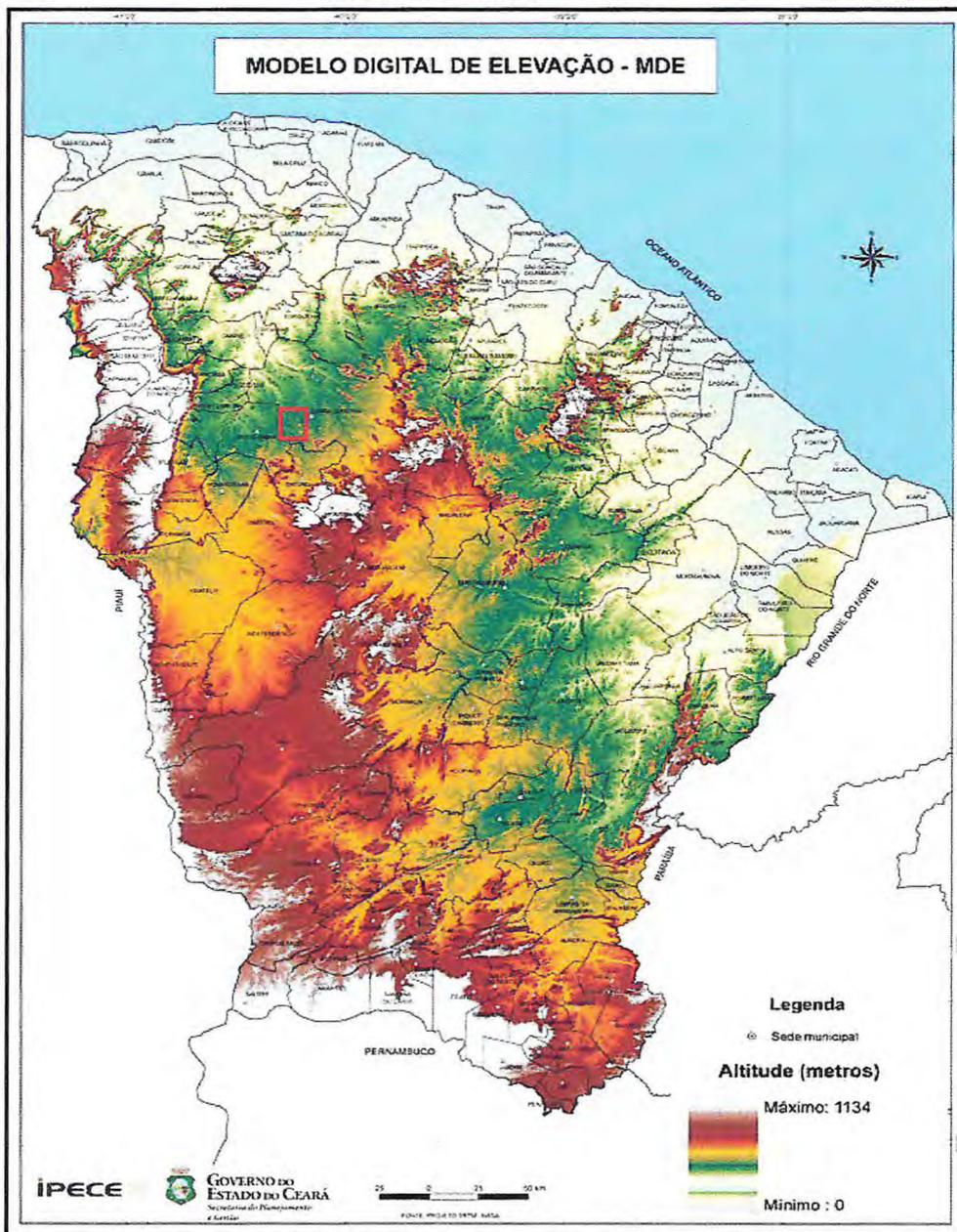


Fonte: IPECE 2007.

3.2.3 Geomorfologia Regional

O relevo predominante na região é o de formas planas ligeiramente dissecadas, produto de processo de sedimentação (Depressão Sertaneja). A sul e leste do município ocorrem maciços residuais (serras e serrotes), e as altitudes atingem cerca de 700 metros, como pode ser observado no mapa de elevação digital do terreno (Figura 6).

Figura 6: Mapa temático do modelo digital de elevação do terreno do estado do Ceará, destacando a área de estudo.



Fonte: IPECE 2007.

De acordo com o Projeto RADAM Brasil (1981), a região em questão encontra-se inserida na Unidade Geomorfológica denominada de Depressão Sertaneja, sendo caracterizada por rochas gnáissicas-migmatíticas bastante antigas e arrasadas, resultando em terrenos suavemente ondulados, cortados por planícies aluviais. Vez por outra, diques ácidos e intrusões graníticas na forma de *inselbergs* com desníveis de até 150 metros, formam um relevo positivo.

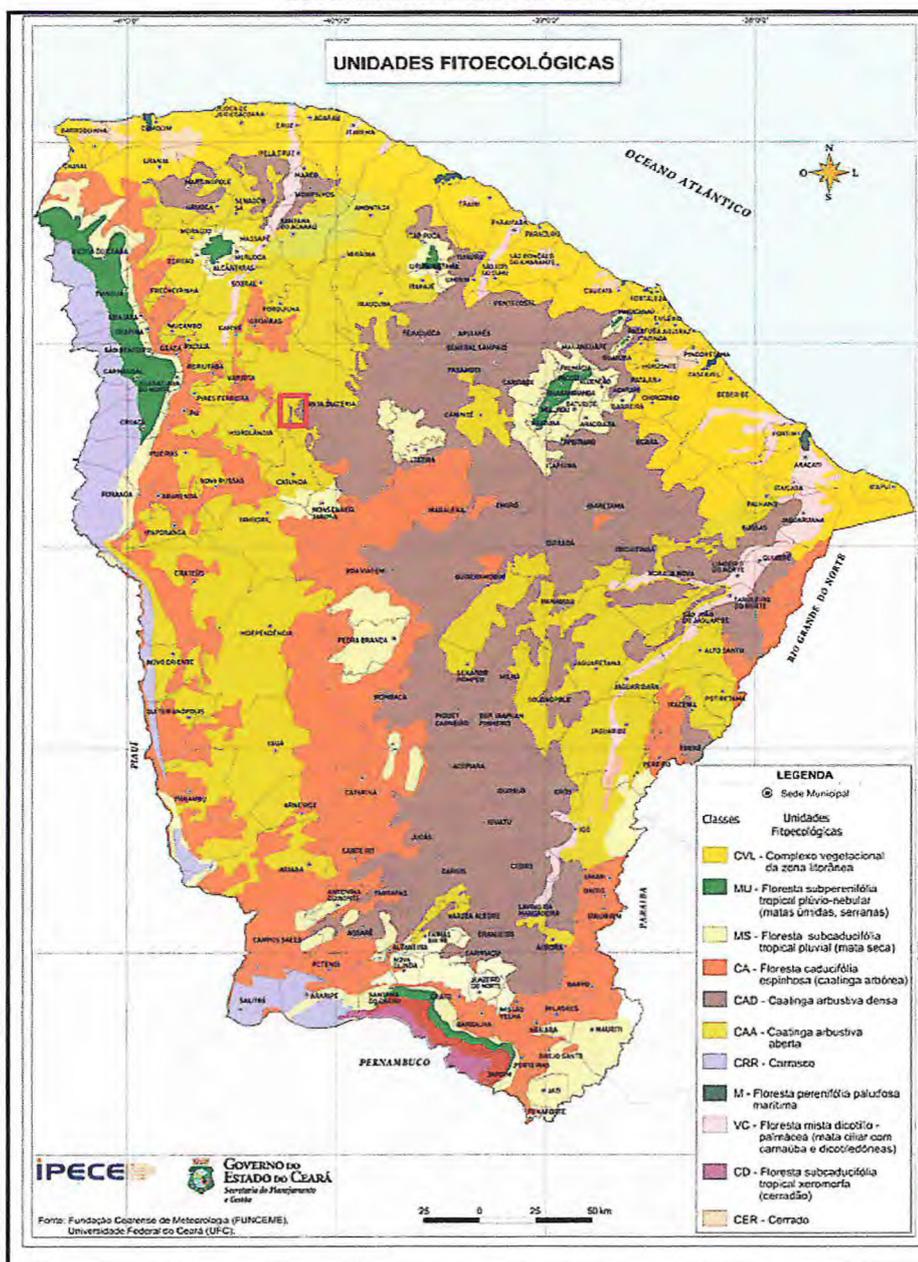
Na área em apreço, observa-se também este tipo de morfologia, ou seja, um relevo plano caracterizado pelo embasamento cristalino e originado por processos intempéricos diversos, principalmente processos físicos e químicos, sendo recortado por plútons graníticos mais recentes caracterizados pelo Serrote Jurujuba, Serrote do Meio e um terceiro serrote sem denominação.

Estes plútons graníticos atingem desníveis de até 120 metros em relação ao embasamento, e devido à maior resistência em relação à rocha encaixante, não sofreram de maneira significativa ação dos processos intempéricos atuantes.

3.2.4 Vegetação

A vegetação desenvolvida é a típica caatinga arbustiva aberta, como pode ser observado no mapa das unidades fitoecológicas (Figura 7), encontrando-se manchas onde é mais densa ou mais arbórea, com espécies de maior porte e espinhosas, Floresta Caducifolia Espinhosa e Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial.

Figura 7: Mapa temático referente às unidades fitoecológicas do estado do Ceará, destacando a área de estudo.

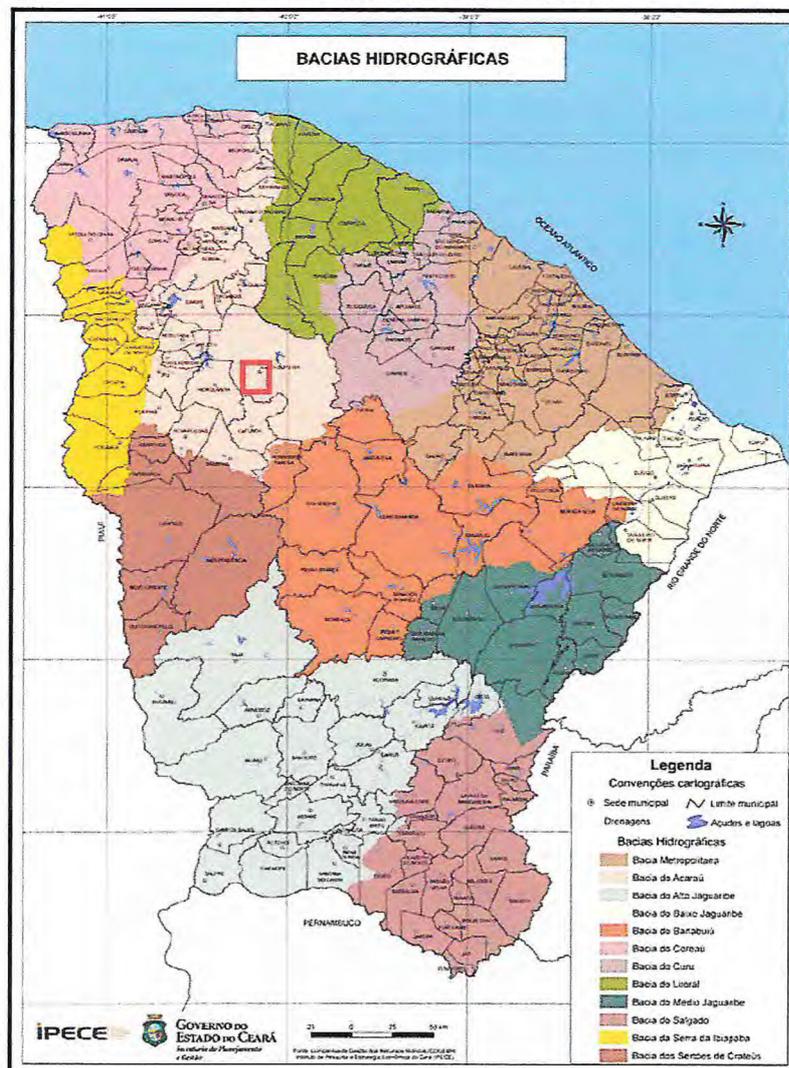


3.2.5 Recursos Hídricos

3.2.5.1 Águas Superficiais

O município de Santa Quitéria está totalmente inserido na bacia hidrográfica do rio Acaraú, como pode ser observado no mapa de bacias hidrográficas (Figura 8), e apresenta como drenagem de maior expressão o rio Groaíras, um dos principais tributários do rio Acaraú. Podem ainda ser citados como expressivos os riachos Jucurutu, dos Macacos, dos Bois, Jurema, Olho d'Água, Fresco, Logradouro, dos Porcos e Batoque. A população urbana é totalmente abastecida, segundo a CAGECE, pelo açude Edson Queiroz, com capacidade de acumulação de 248,75 hm³.

Figura 8: Mapa temático referente às bacias hidrográficas do estado do Ceará, destacando a área de estudo.



Fonte: IPECE 2007.

3.2.5.2 *Águas Subterrâneas – Domínios Hidrogeológicos*

No município de Santa Quitéria pode-se distinguir três domínios hidrogeológicos distintos: rochas cristalinas, coberturas sedimentares e depósitos aluvionares.

As rochas cristalinas predominam totalmente na área e representam o que é denominado comumente de “aquífero fissural”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nesse tipo de rocha, a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semi-árido é, na maior parte das vezes, salinizada. Essas condições atribuem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas cristalinas sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa de abastecimento em casos de pequenas comunidades ou como reserva estratégica em períodos prolongados de estiagem.

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam a região, e apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas com predomínio de rochas cristalinas. Normalmente, a alta permeabilidade dos termos arenosos compensa as pequenas espessuras, produzindo vazões significativas.

4 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

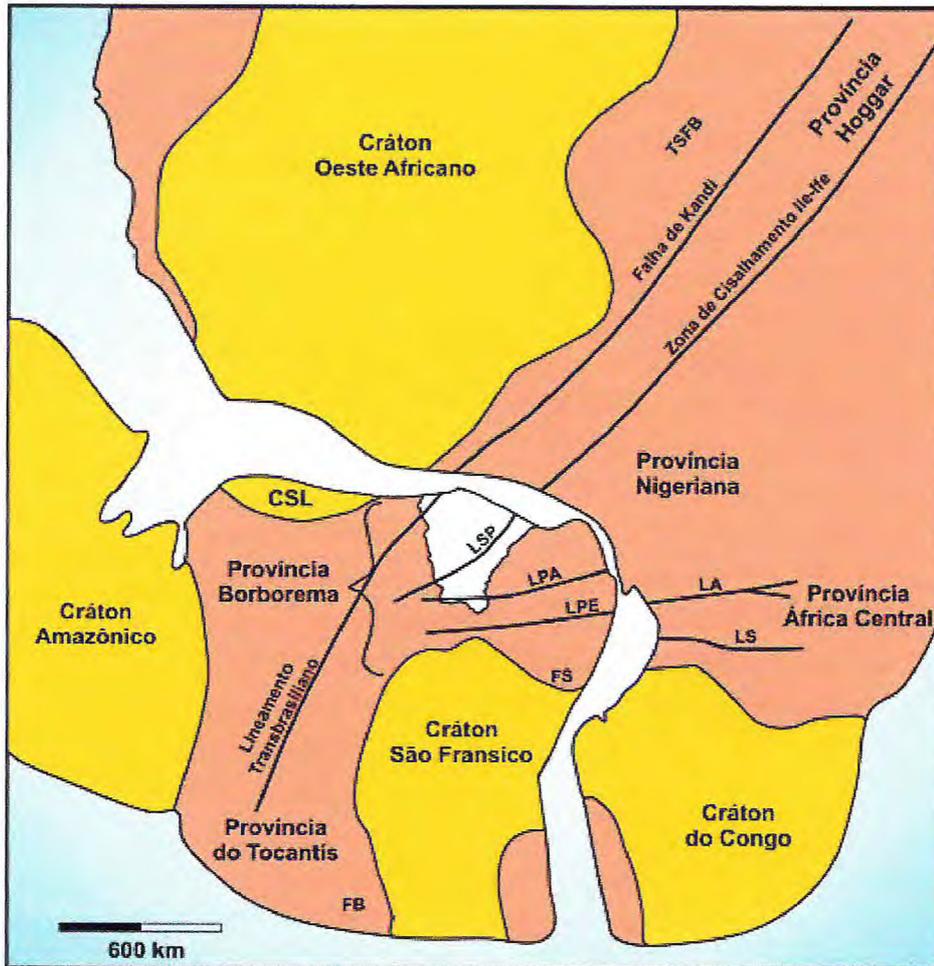
4.1 Introdução

A área, cujo mapeamento geológico é apresentado neste trabalho, encontra-se inserida na Província Borborema (PB) de Almeida *et al.* (1981). A PB é uma unidade geotectônica brasileira situada entre o Cráton do São Francisco, ao sul, e o Cráton do São Luiz, a norte. Uma das feições mais importantes dessa província são os grandes lineamentos de direção E-W e NE-SW que a dividem em domínios tectônicos.

4.2 A Província Borborema (PB)

A Província Borborema foi originalmente descrita e definida por Almeida (1977) e Almeida *et al.*, (1981) como uma complexa região de domínios tectono-estratigráficos, associada a eventos tectônicos de idade neoproterozóica. Esta província compreende uma área de aproximadamente 450.000 km², cobrindo parte do norte da Bahia e sudoeste do Piauí, até o noroeste do Ceará (Almeida *et al.*, 1977). Sua evolução está relacionada à convergência e aglutinação dos crátons Amazônico, Oeste-Africano e São Francisco-Congo, durante a formação da porção ocidental de Gondwana, por volta de 600 Ma, na intitulada colagem brasileira (Brito Neves & Cordani, 1991; Trompette, 1994; Castaing *et al.*, 1994) (Figura 9).

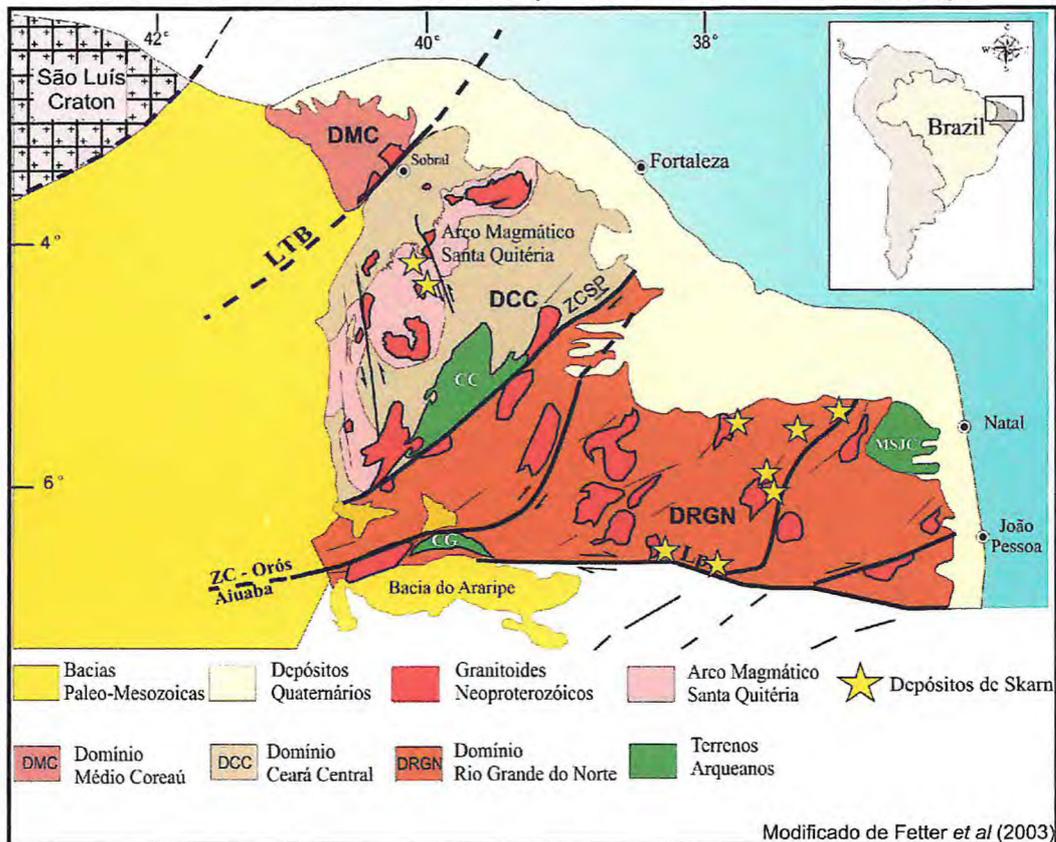
Figura 9: Reconstrução de parte do Gondwana Oeste, mostrando as principais massas cratônicas em amarelo e as faixas móveis em laranja. As zonas de sutura brasileiras/pan-africanas são marcadas pelas linhas pretas. LA= lineamento Adamaoua, FB= Faixa Brasília; LPA = Lineamento Patos, LPE = Lineamento Pernambuco, FS = Faixa Sergipana, LS = Lineamento Sanaga, CSL = Cráton SãoLuiz, LSP = Lineamento Senador Pompeu, TSFB = Cinturão de dobramento Transbrasiliano, (Modificado por Amaral 2007).



Fonte: Modificado por Amaral, 2007.

Nesta Província, a atuação da Orogênese Brasileira/Pan-Africana (Neoproterozóico) é caracterizada pelo desenvolvimento de extensas zonas de cisalhamento transcorrente (Figura 10) e pelo intenso magmatismo granítico que perfaz, em termos gerais, cerca de 30% de todo o território em apreço (Almeida *et al.*, 1981).

Figura 10: Mapa esquemático da porção norte da Província Borborema com as principais estruturas e domínios tectônicos (modificado de Fetter et al., 2003).



O quadro pré-cambriano dessa Província caracteriza-se, ainda, pela existência de significativos sistemas de zonas de cisalhamento (ZC) de caráter dúctil, e com orientações NE-SW, NNE-SSW e E-W, marcadas por alinhamentos de grande expressão geográfica.

Vauchez *et al.*, (1995) caracteriza as ZC como uma rede de falhas transcorrentes desenvolvidas durante a atuação da orogênese brasileira. Segundo esses mesmos autores, o sistema de zonas de cisalhamento da Província Borborema pode ser dividido em dois domínios: oeste e leste. O Estado do Ceará está enquadrado no domínio oeste, que é caracterizado por zonas de cisalhamento de direção NE-SW que pós-datam as *nappes* das porções central e norte do Estado (Caby & Arthaud, 1986). Esse Domínio comporta as mega-zonas de cisalhamento de Granja, Sobral, Senador Pompeu, Tatajuba e Potengi.

Uma das principais características dessas mega-zonas de cisalhamento, também sintetizadas por Vauchez *et al.*, (1995), é que são marcadas em campo por cinturões miloníticos bem desenvolvidos nos quais protomilonitos e milonitos de alta a baixa temperatura coexistem. Os protólitos dessas rochas são gnaisses e granitoides com idades do Arqueano ao Paleoproterozóico e rochas metassedimentares e metavulcânicas das sequências proterozóicas, além de granitoides neoproterozóicos.

4.3 Arcabouço Tectônico da Província Borborema

A separação e caracterização de conjuntos, por vezes limitados por zonas de cisalhamento, têm levado à divisão da Província Borborema em domínios que refletem diferentes histórias evolutivas. O lineamento Patos divide dois grandes blocos tectônicos, o Domínio Norte e o Domínio Sul (Van Schmus *et al.*, 1997). Com base em assinaturas crustais de Nd e diferenças de idade U-Pb, esses domínios foram ainda subdivididos em domínios crustais menores.

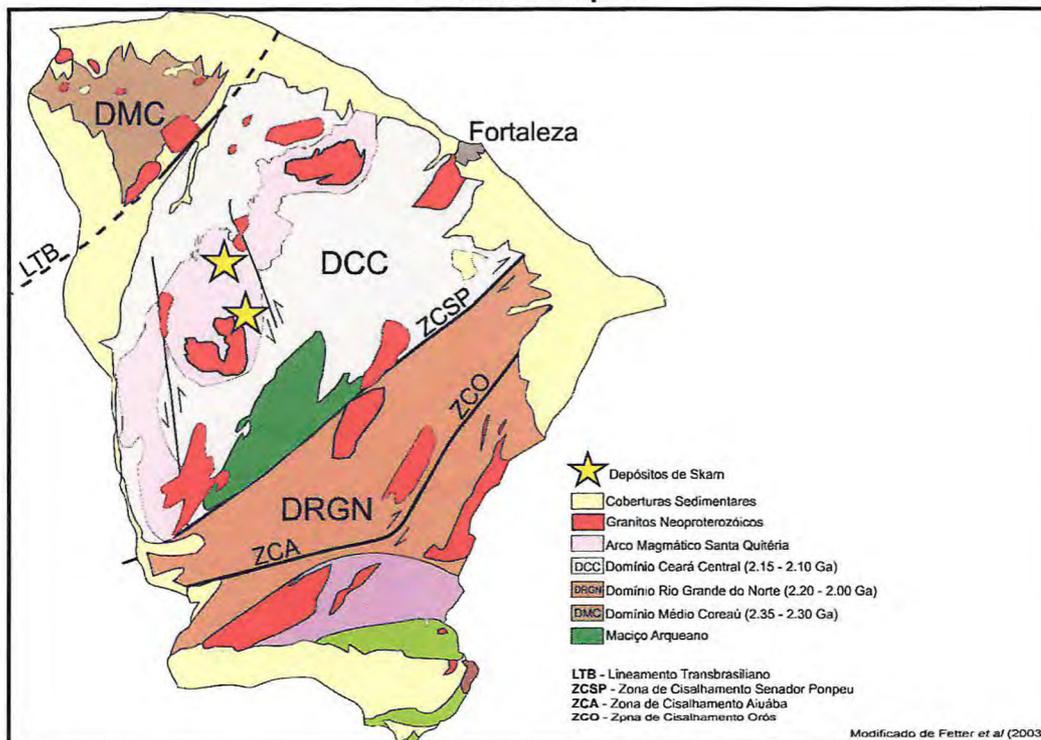
Segundo Fetter *et al.*, (2000), a Borborema Setentrional é subdividida em mega-domínios estruturais: Domínio Médio Coreaú (NW Ceará), Domínio Ceará Central (no qual a área de estudo está inserida) e Domínio Rio Grande do Norte. O Domínio Ceará Central é a mais extensa unidade geotectônica da região central da Província Borborema (PB). Inserido no Domínio Norte tem-se três blocos de idade arqueana: o maciço São José do Campestre e o Complexo Granjeiro (Gomes *et al.*, 1998) no Domínio Rio Grande do Norte, e o maciço de Tróia no Domínio Ceará Central.

4.4 Domínio Ceará Central (DCC)

O Domínio Ceará Central (DCC), onde a área de estudo está inclusa, possui 80.000 Km² de extensão, sendo considerada a mais ampla unidade geotectônica da porção norte da Província Borborema (PB) e alcança quase a totalidade do Estado do Ceará. É delimitado a NW pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II (Lineamento Transbrasiliiano) e a SE pela zona de

cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), sendo encoberto a SW-W pelas rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba (Fetter *et al.*, 2003). (Figura 11).

Figura 11: Limites do Domínio Ceará Central (DCC); a oeste (ZSC) Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II (Lineamento Transbrasiliiano) e a leste (ZCSP) Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.



Fonte: Modificado de Fetter *et al.*, 2003.

Segundo Arthaud *et al.* (1998), a caracterização do Domínio Ceará Central se dá através de grandes *nappes* recumbentes bem preservados, nos quais envolvem o embasamento policíclico e as rochas supracrustais. Estes relatam para o conjunto um metamorfismo de alta pressão associado ao empilhamento de *nappes*, evoluindo em direção a um metamorfismo de alta temperatura, com descompressão de *nappes*, enquanto condições de mais baixas pressões afetaram o embasamento para- autóctone. Subsequentemente, dominaram processos transpressionais, ao longo da ZCSP, onde os conjuntos alongados de plútons foram intrudidos.

Segundo Fetter *et al.*, (2000), o Domínio Ceará Central é dividido em quatro unidades geotectônicas que serão descritas separadamente, a saber: i) embasamento Arqueano, que é representado por ortognaisses, gnaisses,

granodioritos e tonalitos em geral limitados por zonas de cisalhamento (Caby & Arthaud, 1989). Pertencem a essa unidade o maciço de Tróia, com os blocos Tróia-Pedra Branca e Mombaça, separados pela zona de cisalhamento Sabonete-Inharé; ii) terrenos acrescionários do Paleoproterozóico, constituídos em grande parte por rochas metassedimentares, com quartzitos basais seguidos de xistos, orto e paragneisses e carbonatos; iii) coberturas Neoproterozóicas, que segundo Jardim de Sá & Fowler (1981) e Mendonça *et al.* (1986) são um pacote de rochas psamítico-pelítico-carbonáticas organizadas em diferentes arranjos lito-estratigráficos, interpretadas e descritas como coberturas do tipo plataforma continental e; iv) complexo Tamboril-Santa Quitéria, incluindo neste o recém definido Arco Magmático de Santa Quitéria (Fetter *et al.*, 2003), que é constituído por rochas graníticas migmatizadas, com composição tonalítica e granodiorítica migmatizadas, situado a leste da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II e recobrimdo quase 20% da área do Domínio Ceará Central.

O Domínio Ceará Central é produto de longa e complexa história geológica, iniciada nos tempos arqueanos. Vários episódios de acreção crustal e vários ciclos orogenéticos deixaram seus registros magmáticos, metamórficos e deformacionais (Arthaud, 2007).

4.4.1 Embasamento Arqueano

Representado por parte do Complexo Cruzeta (CC), o núcleo Arqueano aflora na porção sudeste do DCC e está balizado a leste pela zona de cisalhamento Senador Pompeu e a oeste e a norte pelos gnaisses do embasamento Paleoproterozóico. O complexo é seccionado pela zona de cisalhamento Sabonete-Inharé, que o divide em duas unidades litológicas distintas, intituladas unidades Mombaça a sudeste, e unidade Pedra Branca a noroeste, ambas de afinidade Tonalítica, Trondjemítica, Granodiorítica (TTG).

Com base em análises isotópicas U-Pb e Sm-Nd, Fetter (1999) aponta uma assinatura juvenil para a Unidade Pedra Branca enquanto os litotipos da Unidade Mombaça apresentam indícios de retrabalhamento de fontes ligeiramente mais antigas. Similarmente, as idades de cristalização indicam que

a unidade Pedra Branca é mais jovem (ca. 2,7 Ga) que a Unidade Mombaça (ca.2,8 Ga). Entretanto, registro de crosta mais antiga foi reportado por Silva *et al.* (2002), utilizando determinações U-Pb SHRIMP em zircão de gnaisses tonalíticos localizados a sudoeste de Boa Viagem. As análises indicaram idade de 3270 ± 5 Ma e uma borda sobrecrescida datada em 2084 ± 14 Ma.

4.4.2 Terrenos Acrescionários Paleoproterozóicos

Durante o Paleoproterozóico, o Domínio Ceará Central foi marcado por grandes extensões intracratônicas que precederam um evento orogênético. Tais extensões estão registradas pela formação de uma seqüência de rochas supracrustais metaígneas a oeste da cidade de Quixeramobim, formando o cinturão homônimo (Arthaud, 1998). No terreno Rio Grande do Norte esse evento extensional é marcado pelas rochas que formam o cinturão Orós-Jaguaribe.

Rochas de idade paleoproterozóica são comuns no Domínio Ceará Central, onde representam boa parte da área exposta. Elas podem ser subdivididas em duas sub - unidades: os terrenos do tipo TTG que, juntos com os terrenos arqueanos, formam o Complexo Cruzeta de Cavalcante *et al.*,(2003).

As rochas do embasamento que afloram na região de Madalena/Boa Viagem até a região de Choró são representadas por gnaisses, por vezes migmatíticos, de composição diorítica a tonalítica e por terrenos TTG, que margeiam a noroeste o bloco arqueano de Pedra Branca. Essas rochas encontram-se associadas a faixas supracrustais (como a Seqüência Algodões – Arthaud & Landim, 1995 e/ou Suíte Metamórfica Algodões-Choró - Martins, 2000) constituídas de rochas metavulcânicas básicas (anfíbolitos com ou sem granada) e rochas metassedimentares diversas, inclusive formações ferríferas e manganésíferas bandadas.

A partir de dados geocronológicos (U-Pb e Sm-Nd) Fetter (1999) e Fetter *et al.*(2003) sugeriram para a região denominada Complexo Cruzeta, um

regime de sucessivas colagens de arcos de ilha paleoproterozóicos (idades compreendidas entre 2,1 e 2,15 Ga) em torno do núcleo Arqueano.

Por sua vez, os terrenos granito gnaiesses envolvem uma associação complexa de rochas metaplutônicas, na qual predominam rochas de composição granítica. Do ponto de vista geocronológico, estes terrenos não foram bem caracterizados, mas podem ser indicativos do retrabalhamento de crosta arqueana (Fetter, 1999).

4.4.3 Cobertura Neoproterozóica - Metassedimentos

O DCC é caracterizado pela ampla ocorrência de sequências supracrustais, praticamente, bordejando todo o arco magmático de Santa Quitéria. No Projeto Fortaleza (1979), RADAMBRASIL (1987) e no mapa geológico do Ceará (Cavalcante *et al.*, 2003), essas unidades foram incluídas no Grupo Ceará ou Complexo Ceará, individualizado nas unidades Independência e Canindé.

Jardim de Sá & Fowler (1982), Mendonça *et al.* (1982) e Souza *et al.* (1986), em trabalhos de mapeamento geológico descrevem diferentes arranjos lito-estruturais para essa cobertura psamítico-pelítico-carbonácea, que são representadas por cianita-muscovita-biotita, gnaisse granadífero, gnaiesses quartzo-feldspáticos, muscovita-biotita gnaisse e biotita gnaisse, podendo ou não ocorrer granada, com contribuições de mármore e cálcio silicáticas. Caby & Arthaud (1986), descrevem sills de granitos alcalinos, derrames de riolitos alcalinos e metabasaltos para esta unidade. Nesses trabalhos, as coberturas são geralmente associadas a uma plataforma continental (Jardim de Sá & Fowler, 1982).

4.2.2.1 Complexo Ceara Central (Ppc)

Esse complexo tem sido usado como referência pela maioria dos pesquisadores para descrever uma sequência metassedimentar, onde predominam rochas de natureza clástica (quartzito) na base, seguidas por

representantes pelíticos como: filitos, biotita xisto e clásticos pelíticos como cianita – muscovita-biotita-gnaisses granatífero na porção intermediária. Devem ser destacados, também, horizontes carbonáticos no topo intercalados aos pelitos Almeida *et al* (1989).

É representado por um conjunto constituído por micaxistos granatíferos, podendo em sua composição ser encontrado ou não cianita, silimanita, estauroлита, leptinitos, mármore, quartzitos, e gnaisses granatíferos ou não. Os litotipos desse complexo são compostos basicamente por gnaisses, quartzitos, calcários e rochas calciossilicáticas.

Os gnaisses apresentam coloração cinza a cinza escuro e rosado, com estrutura marcada pela alternância de níveis quartzo-feldspáticos e biotíticos. A granulação é normalmente fina podendo conter porfiroblastos arredondados de feldspatos, envoltos numa matriz de quartzo, feldspato e micas. Cavalcante *et al.* (2003) sistematiza o Complexo Ceará da seguinte maneira: Unidade Independência, Unidade Canindé, Unidade Quixeramobim, Unidade Arneiroz.

4.4.4 Complexo Tamboril-Santa Quitéria

Esta unidade foi reconhecida desde a década de setenta em mapeamentos da CPRM (Campos *et. al.*, 1976; Braga *et al.*, 1977 in Almeida *et. al.*, 2008) e está bem delimitada no trabalho de Cavalcante *et. al.*, 1983 e apresenta como característica principal uma intensa migmatização associada a grande volume de granitos anatóxicos e restitos de anfibolíticos e calciossilicatadas.

Fetter *et. al.*, (2003), baseando-se em assinaturas isotópicas de migmatitos de protólitos dioríticos e graníticos, e da base metassedimentar da unidade, interpretaram que o Complexo corresponde ao ambiente de arco magmático continental, acima da zona de sutura a oeste e com mergulho para leste, provavelmente no Lineamento Transbrasiliiano com reativação em transcorrência dextral. A reconstituição geométrica do arco é dificultada devido

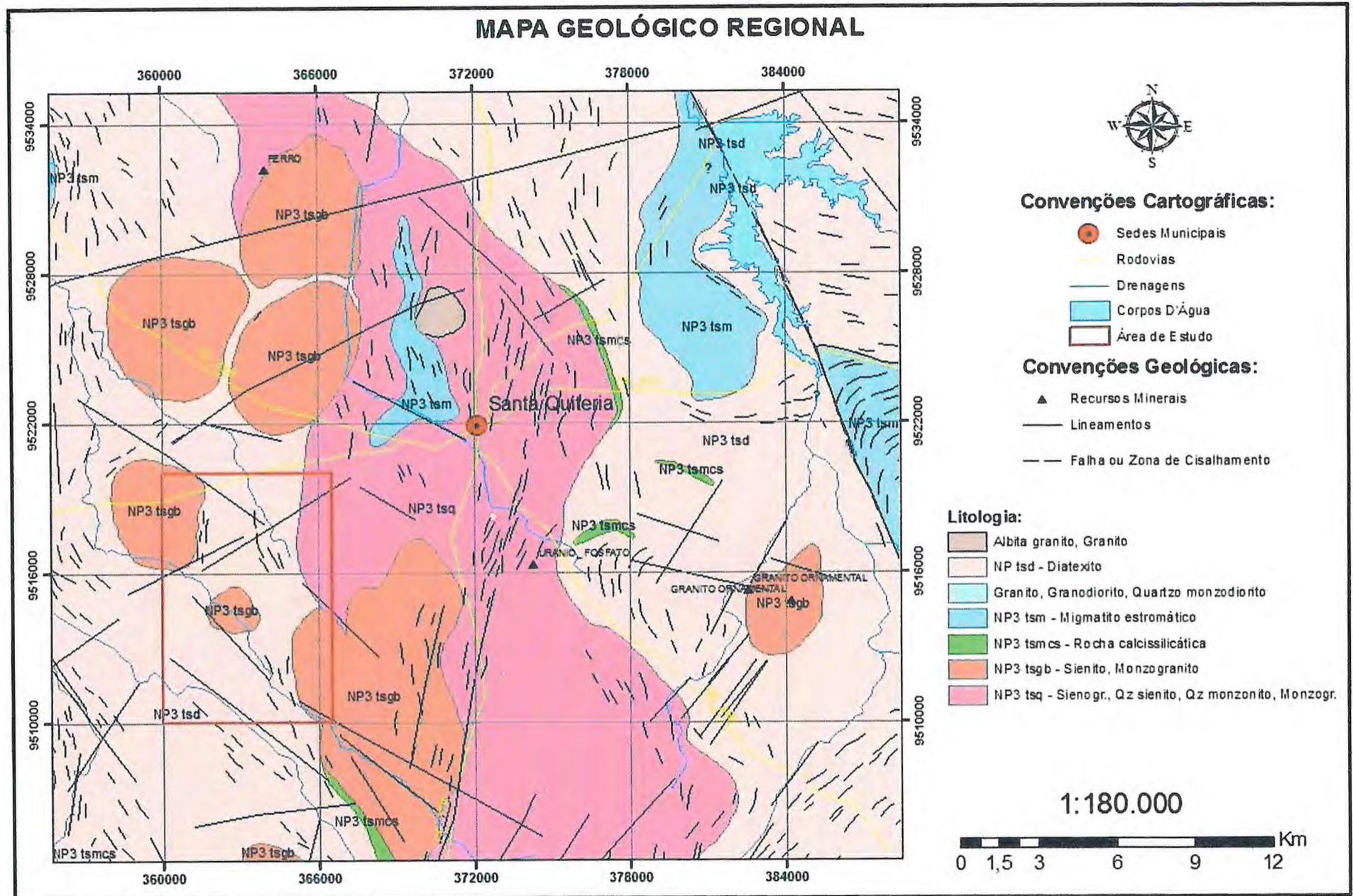
à intensa deformação e anatexia adquiridos ao longo do pico da Colisão Brasileira.

As rochas metaplutônicas do Complexo Tamboril- Santa Quitéria apresentam dados indicativos de mistura de magmas juvenis Neoproterozoicos com gnaisses Paleoproterozoicos vizinho (Fetter et. al., 2003). Já as rochas metassedimentares basais, corresponderiam em parte ao produto de erosão do material juvenil.

Datações de U-Pb em zircões de variados corpos graníticos deformados variam entre 649 e 615 Ma, sendo os granitos representantes dos últimos estágios da evolução do arco, caracterizados por aumento progressivo de participação crustal e refusão de material magmático precoce (Fetter et. al., 2003)

Na região estudada, segundo a CPRM 2013, afloram basicamente diatexito, sienito, monzogranito, sienogranito, quartzo sienito e quartzo monzonito, conforme pode ser observado no mapa geológico regional de Santa Quitéria (Figura 12). Os dados obtidos com a execução deste trabalho, em escala de maior detalhe, permitiram não somente uma melhor compartimentação dessas unidades, mas também a identificação de novas associações litológicas, inclusive metalogenéticas. Isso permitirá ampliar não somente os conhecimentos geológicos, mas também metalogenéticos da região. Essas novas associações e/ou unidades litodêmicas serão abordadas e/ou descritas nos Capítulos seguintes.

Figura 12: Mapa geológico regional de Santa Quitéria - Ce., com escala 1:180.000.



Fonte: Folha Quixadá CPRM 2013

5 GEOLOGIA LOCAL

5.1 Introdução

A partir do mapeamento geológico em escala 1:25:000, foi possível discriminar os principais litotipos existentes na área estudada, que consistem predominantemente em rochas supracrustais de grau metamórfico variando de anfibolito baixo a alto, compostas por calcissilicáticas, gnaisses-migmatíticos, mármore e metabásicas, associadas e/ou recortadas por diversos tipos de granitos de tamanho, forma, idade e composição distintos. A intrusão de alguns desses granitos nas rochas carbonáticas gerou outro grupo de rochas, resultado do metamorfismo de contato, os skarns.

A organização desses tipos em unidades litoestratigráficas foi desenvolvida a partir de análise integrada de suas relações de campo, por meio de elementos estruturais e petrológicos, com tratamento de imagens de satélites e imagens aerogeofísicas. Baseou-se também em trabalhos anteriores, como os de Fetter (1999), Fetter *et al* (2003), Arthaud (2007), Amaral (2007) realizados no Arco Magmático de Santa Quitéria para melhor compartimentação das rochas graníticas.

Foram reconhecidas duas unidades litoestratigráficas, cuja distribuição e relação entre elas se encontram no Mapa Geológico Local, (Anexo 1). A seguir tem-se a descrição, da base para o topo, dessas diferentes unidades.

5.2 Complexo Ceará

Sob esta denominação estão incluídas todas as rochas consideradas originalmente de natureza supracrustal encontradas na área, que incluem mármore, calcissilicáticas, paragnaisses e migmatitos, além de algumas metabásicas que se encontram intercaladas. É importante registrar a presença dos mármore nessa associação, que até então eram desconhecidos, bem como a extensão dessas supracrustais que é muito maior do que aquela proposta por Cavalcante *et al.* (2003), no mapa geológico do estado do Ceará.

Na Sequência supracrustal, porção central N-S da área de estudo, as foliações mergulham em média 60°.

5.2.1 Calcissilicática (CAL)

As rochas calcissilicáticas, que ocorrem na área, apresentam coloração esverdeada, são em geral bandadas, de granulação média a fina (Figura 13), encontrando-se em grande parte deformadas, dobradas e, às vezes, apresentando micro-falhas (Figuras 14, 15 e 16), recortadas por veios calcíticos de espessura milimétrica (Figura 17). Correspondem aos principais tipos litológicos do Complexo Ceará, distribuindo-se sob a forma de lentes nas porções centrais de Norte a Sul, com direção preferencial NW-SE, como pode ser observado no mapa geológico local (Anexo 1)

Figura 13: Rocha calcissilicática apresentando coloração esverdeada e granulação média. UTM: 362917 / 9518452.



**Figura 14: Dobras similares observadas nas rochas calcissilicáticas.
UTM: 361525 / 9516769.**



Figura 15: Outro aspecto dos dobramentos similares observado nas rochas calcissilicáticas. UTM: 361525 / 9516769.



Figura 16: Rocha calcissilicática apresentando dobras que indicam um encurtamento e cisalhamento. UTM: 361525 / 9516769.



Figura 17: Rocha calcissilicática recortada por veios com espessura milimétrica de calcita. UTM: 361395 / 9516205.



As rochas calcissilicáticas ocorrem geralmente na forma de blocos e matacões, em áreas bastante arrasadas, dificultando assim a obtenção de dados estruturais que permitam sua melhor caracterização. Frequentemente as calcissilicáticas encontram-se em contato ou mesmo recortadas por granitos leucocráticos (Figuras 18 e 19), sugerindo brechas intrusivas.

**Figura 18: Contato da Rocha calcissilicática com granito leucocrático.
UTM: 364077 / 9516598.**



Figura 19: Rocha calcissilicática cortada por diques de granito leucocrático em várias direções. UTM: 364077 / 9516598.



5.2.2 Mármore (MAR)

São representados por três corpos lenticulares de dimensões métricas, em meio às rochas calcissilicáticas, descontínuos, preferencialmente homogêneos, por vezes isotrópicos, ou seja, sem orientação, apresentando coloração branca a cinza claro, granulação média, podendo ser puros (compostos somente por carbonatos) ou impuros (compostos por carbonatos e outros minerais em menor quantidade, como diopsídio e opacos). Esses mármores ocorrem preferencialmente nas porções central e NNW da área de estudo, como pode ser observado no mapa geológico local (Anexo 1).

O primeiro corpo de mármore, localizado na porção NW da área, ocorre na forma de lajedo, próximo a blocos soltos de ferro. Apresenta coloração branca, mosqueado, marcado por partículas ou fragmentos angulosos escuros de rocha metapelítica de dimensões milimétrica a centimétrica, em meio a matriz carbonática recristalizada (Figura 20). Observa-se em algumas porções, foliação milonítica anastomosada com orientação média de 325/60 clar (Figura 21).

Figura 20: Mármore de coloração branca, mosqueado, marcado por fragmentos angulosos escuros de rocha metapelítica de dimensões milimétrica a centimétrica, em meio a matriz carbonática recristalizada. UTM: 361572 / 9516852.

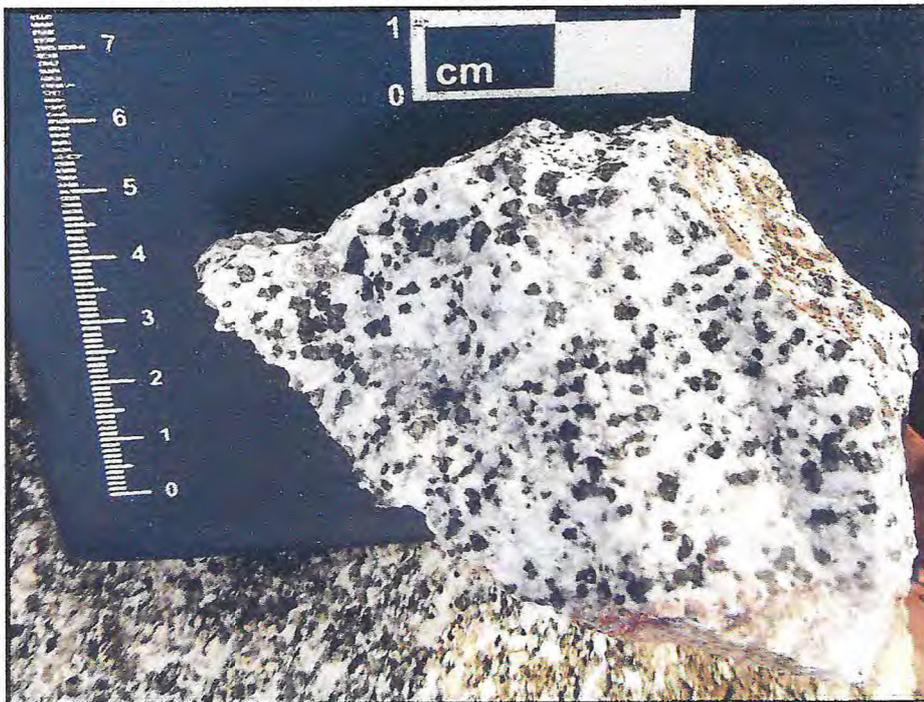


Figura 21: Mármore apresentando foliação milonítica anastomosada com orientação 325°/60° (clar). UTM: 361572 / 9516852.



Na porção NNW da área, ainda nesse primeiro tipo de mármore, minerais ferro-magnesianos encontram-se orientados segundo um plano preferencial (Figura 22), formando um bandamento (Figura 23) em uma matriz carbonática recristalizada. Na porção NW, houve segregação e concentração desses minerais ferro-magnesianos (Figura 24). Notou-se também a presença de nódulos silicosos preenchendo fraturas (Figura 22), provavelmente resultado de metamorfismo de substituição.

Figura 22: Mármores com minerais ferro-magnesianos orientados segundo um plano preferencial em uma matriz carbonática recristalizada e nódulos silicosos preenchendo fraturas UTM: 361572 / 9516852.



Figura 23: Mármore com minerais ferro-magnesianos orientados, formando um bandamento em meio a uma matriz carbonática recristalizada. UTM: 361485 / 9516771.



Figura 24: Mármore com segregação e concentração de minerais ferro-magnesianos em uma matriz carbonática recristalizada. UTM: 361572 / 9516852.



O segundo tipo de mármore apresenta-se como um corpo lenticular localizado na porção NW, na forma de um pequeno lajedo sob uma drenagem e em contato com um corpo granítico bastante intemperizado. Possui coloração cinza, textura granoblástica, granulação grossa (Figura 25), com finos veios de calcita recristalizada e feições de dissolução devido à percolação de água (Figura 26).

Figura 25: Mármore com coloração cinza, textura granoblástica, granulação grossa e finos veios de calcita. UTM: 362220 / 9519269.



Figura 26: Mármore apresentando-se como corpo lenticular e mostrando feições cársticas devido à percolação de água. UTM: 362220 / 9519269.



O terceiro tipo, localizado na região NW da área, ocorre na forma de afloramento *in situ*, possui coloração branca, granulação grossa, textura granoblástica com megacristais de calcita neo-formados e/ou recristalizados, cujos cristais são milimétricos a centimétricos (Figura 27), sendo composto essencialmente por carbonatos.

Em função da grande descontinuidade entre esses três corpos de mármore, não foi possível saber se eles representam uma única camada que, ao ser deformada teve sua geometria totalmente modificada, ou se representam camadas distintas.

Pode ser que seja ou que tenha sido uma plataforma continental que foi estilhaçada durante a evolução tectônica da área, ou seja, foi mobilizada por tectônica e metamorfismo mais intrusões graníticas. São descontínuas ou heterogêneas por pertencerem a diferentes locais ou posições na plataforma.

Figura 27: Mármore branco com megacristais de calcita neoformados e/ou recristalizados com tamanho que varia de milimétricos a centimétricos. UTM: 361740 / 9515968.



5.2.3 Anfibolito (ANF)

Os anfibolitos, localizados nas porções NW e SE, ocorrem esporadicamente, na forma de blocos soltos. Da mesma forma que os mármore, encontram-se intercaladas e/ou recortando as rochas metassedimentares. Podem ser foliados e exibem uma granulação média a grossa, sugestivo de rocha originalmente subvulcânica ou mesmo plutônica. Algumas rochas exibem filmes leucocráticos, ricos em plagioclásio, indicativos de deformação e metamorfismo nas condições do fácies anfibolito alto (Figura 28).

Figura 28: Anfibolito, apresentando coloração cinza escuro e textura granoblástica. UTM: 361735 / 9515963.



5.3 Migmatitos (MIG)

Os migmatitos, *sensu strictu*, tem ocorrência bastante abrangente e bem distribuída, ocorrendo sob a forma de extensos lajedos (Figura 29), apresentando orientações com medidas que resultaram em uma média de 280/45.

Figura 29: Afloramento in situ em forma de lajedo, demonstrando sua extensão. UTM: 364732/9515683.



Os migmatitos são marcados por um bandamento diferenciado, definido pela alternância de bandas melanossomáticas e leucossomáticas de espessura centimétrica (Figura 30). Por vezes, esse bandamento apresenta-se dobrado, originando dobras do tipo isoclinais fechadas (Figura 31), truncado por zonas de cisalhamento dúcteis em que se associam mobilizados ou diques graníticos leucocráticos de fusão parcial, cuja espessura vai de centimétrica a decimétrica. Observou-se também veios e diques discordantes a sub-concordantes ao bandamento e porções de granulação mais grossa de natureza pegmatítica.

Figura 30: Migmatito apresentando um microbandamento diferenciado, definido pela alternância de faixas melanossomáticas e leucossomáticas de espessura centimétrica. UTM: 364732/9515683.



Figura 31: Migmatito apresentando bandamento marcado por dobras interfoliares. UTM: 364732/9515683.

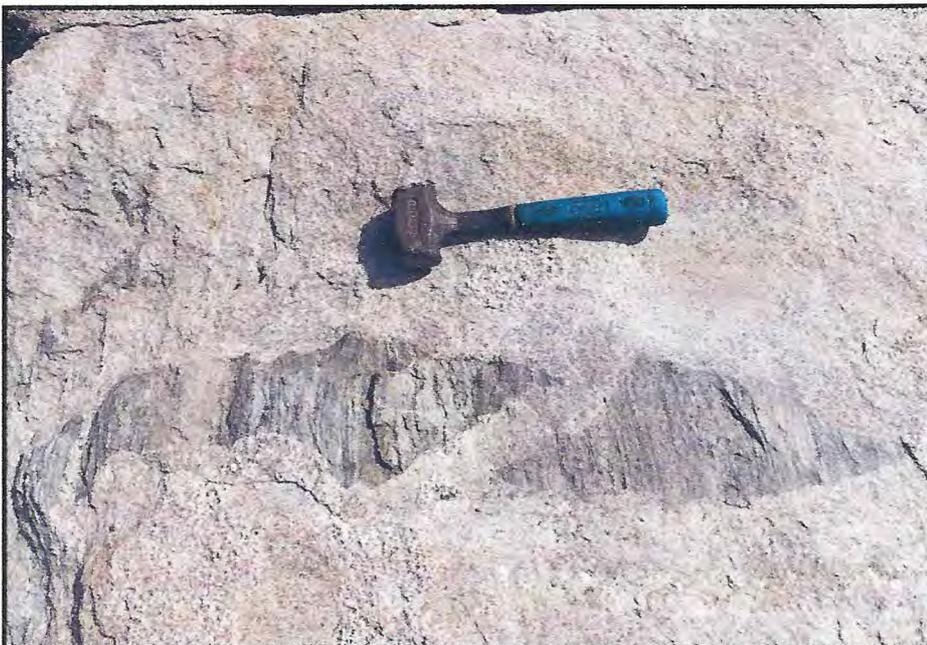


Esses migmatitos são constituídos por leucossoma e melanossoma. Não obstante, são comuns granitos com feições anatéticas, que serão detalhados posteriormente, mostrando que o processo de migmatitização que afetou a região foi em escala regional, como supôs Arthaud *et al.* (2008). Foram observadas em algumas porções, segregações irregulares de biotita, feições estas denominadas franja biotítica (Figura 32). Do ponto de vista petrográfico, os leucossomas dos migmatitos são compostos basicamente por quartzo, feldspato e plagioclásio. O melanossoma é composto essencialmente por minerais ferro-magnesianos como biotita e anfibólio. Onde o leucossoma predomina sobre o melanossoma, a rocha perde o seu aspecto bandado, assumindo uma estrutura mais homogênea ou nebulítica. Notou-se ainda a presença de xenólitos desse gnaiss-migmatítico englobados em porções graníticas (Figura 33).

Figura 32: Migmatitos apresentando injeções aplíticas quartzo feldspáticas deformadas segregações irregulares de biotita, feição denominada franja biotítica, que são típicas de granitos crustais. UTM: 364732 / 9515683.



Figura 33: Xenólito de gnaiss-migmatítico englobado por uma porção granítica. UTM 364732/9515683.



5.4 Granitóides

5.4.1 Introdução

A caracterização das rochas graníticas estudadas foi realizada em função dos seus aspectos petrográficos, estruturais e suas relações com zonas de cisalhamento e aos gnaisses-migmatíticos.

Os granitóides apresentam uma foliação incipiente originada pela deformação regional e suas foliações são marcadas pela orientação preferencial dos minerais ferro-magnesianos recristalizados durante o metamorfismo.

As lineações de estiramento mineral ocorrem de maneira mais acentuada nos granitóides. São formadas geralmente por lamelas de biotita e cristais de quartzo estirados, deformados com orientação principal de 240° Azimute. Ocorrendo na porção NW da área.

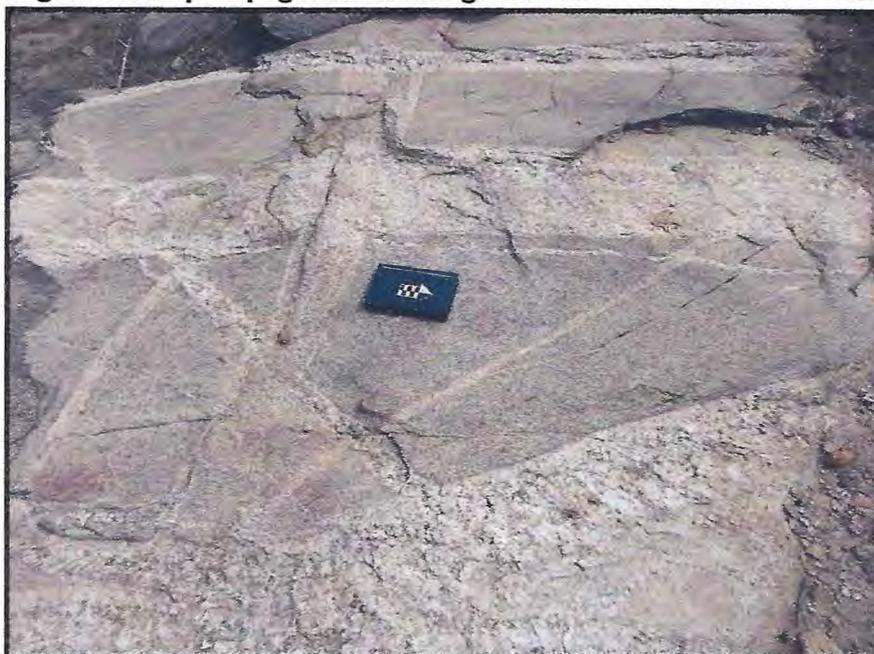
As feições rúpteis são evidenciadas principalmente por sistemas de fraturas e falhas tardias que afetam toda a área, como pode ser observado nas figuras abaixo (Figura 34).

Figura 34: Sistema de fraturas no granitóide. UTM 360653 / 9516922.



Foram observados diques pegmatíticos abrangendo praticamente toda a área de estudo, ocorrendo preferencialmente nos granitoides (Figura 35). Apresentam-se por vezes paralelos à foliação ou recortando-a. Alguns diques possuem granulação mais fina no centro e mais grossa nas bordas indicando que são zonados com núcleo aplítico.

Figura 35: Diques pegmatíticos no granitoide. UTM 362711/9515112.



5.4.2 Biotita-granodiorito (BGr)

Esse tipo granítico exibe raramente uma foliação, possui granulação média a grossa, textura equigranular (Figura 36), com alguns cristais deformados e metamorfisados, com desenvolvimento de estruturas migmatíticas reliquiares locais, restitos biotíticos e fantasmas de estruturas nebulíticas tipo *schliere* (Figura 37), associados ao metamorfismo que afetou as rochas supracrustais. Observou-se também, pórfiros de K-feldspato (Figura 38) de dimensão até 24 cm, sendo estes possivelmente tardios.

Figura 36: Biotita-granodiorito de coloração cinza, apresentando estrutura maciça, granulação média a grossa, sendo composto essencialmente por biotita, quartzo, K-feldspato, plagioclásio e muscovita. UTM: 0362711 / 9515112.



Figura 37: Biotita restítica com estrutura do tipo schliere. UTM: 0362711 / 9515112.



Figura 38: Porfiroblastos tardios de K-feldspato no granito. UTM 0362711 / 9515112.



Ocorrem sob forma de lajedos e matacões de dimensões variadas e são compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, biotita, K-feldspato, muscovita e minerais acessórios. Foi observado que esse tipo granítico apresenta uma variação na porcentagem dos feldspatos, sendo alguns mais ricos em plagioclásio e outros mais ricos em K-feldspato. São comuns diques aplíticos e pegmatíticos ou pegmatóides, de pequena espessura, sendo que às vezes se verifica uma granulação mais grossa no centro e mais fina nas bordas exibindo um aspecto zonado (Figura 39).

Figura 39: Afloramento de granito recortado por diques pegmatíticos com pórfiros de K-feldspato. UTM: 0362711 / 9515112.



5.4.3 Granito leucocrático (LGr)

Observou-se também granitos leucocráticos (Figura 40), que apresentam coloração branca, textura porfirítica, apresentando por vezes orientação dos cristais de quartzo (Figura 41). Petrograficamente, esses granitos leucocráticos são caracterizados por quartzo, plagioclásio, e em menor porcentagem microclina tardia, mica branca e titanita, em que são frequentes inclusões de quartzo subarredondados em feldspatos, característicos de granitos anatóticos.

Figura 40: Granito leucocrático, com coloração branca, textura porfirítica, composto essencialmente por quartzo e plagioclásio. UTM: 361365 / 9516279.

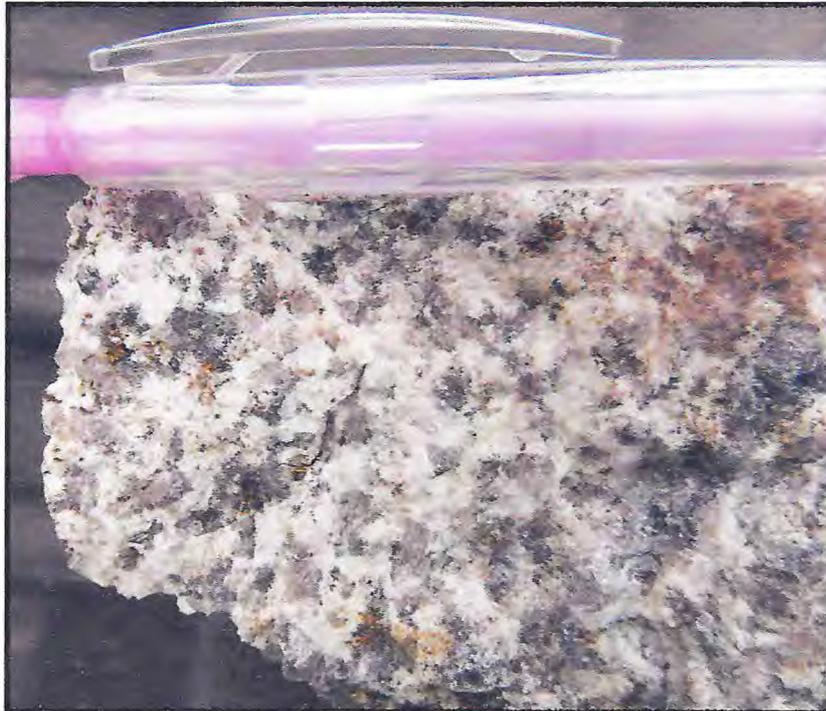


Figura 41: Granito leucocrático com orientação dos cristais de quartzo. UTM: 361365 / 9516279.



Os leucogranitos ocorrem em forma de pequenos corpos elipsoidais ou tabulares em meio às rochas calcissilicáticas (Figura 42), alguns concordantes e outros discordantes em relação às rochas hospedeiras. Muitas vezes, essa relação de contato parece sugerir brechas intrusivas (Figura 43).

Figura 42: Granito leucocrático em contato com as rochas calcissilicáticas. UTM: 361373 / 9516154.



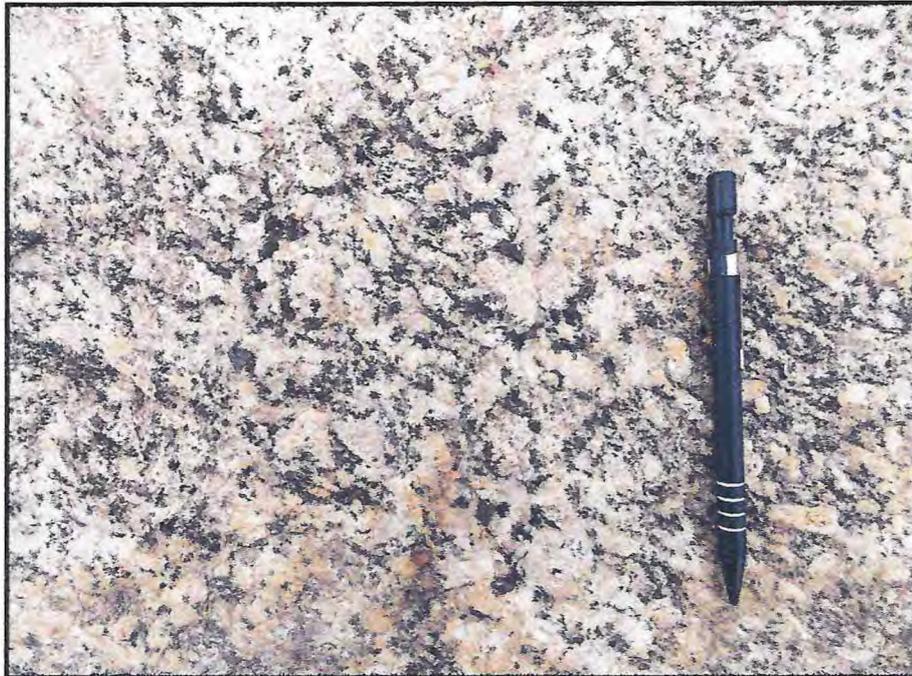
Figura 43: Contato do granito leucocrático com a rocha calcissilicática, sugerindo brechas intrusivas. UTM: 361373 / 9516154.



5.4.4 Hornblenda-granito (HGr)

Esse tipo granítico corresponde a um hornblenda-granito, com granulação grossa, coloração branca com fenocristais de anfibólios reliquiares (Figura 44). Os fenocristais de anfibólio foram estirados devido a um fenômeno de deformação e assim foram parcialmente recristalizados. São compostos por quartzo, plagioclásio, anfibólio, K-feldspato e como mineral acessório apatita.

Figura 44: Hornblenda-granito, com granulação grossa, coloração branca com fenocristais de anfibólios reliquiares. UTM: 361238 / 9512795.



Esses granitos correm intrusivos nas rochas supracrustais, em que desenvolvem um processo de eskarnitização de expressiva magnitude por toda região, sendo, junto com suas encaixantes, afetados localmente por zona de cisalhamentos de pequena expressão, indicando que seu alojamento não foi de todo controlado por cisalhamentos preexistentes.

5.5 Skarn (SKa)

5.5.1 Introdução

Embora os *skarns* sejam rochas constituídas essencialmente por silicatos de Ca e Mg, a sua mineralogia pode ser bastante complexa pela grande variabilidade potencialmente assumida pelas condições físico-químicas durante a sua gênese. Os minerais mais comuns observados nos *skarns* incluem granada, piroxênios, olivinas, anfibólios, epidotos, plagioclásio,

escapolita, versuvianita. Ocorre também tremolita e minerais acessórios, tais como titanita, apatita e outros.

A área apresenta, tanto *skarns* reduzidos como *skarns* oxidados. Os *skarns* reduzidos apresentam predominância de piroxênio sobre a granada, piroxênio com porcentagem mais elevada do componente hedenbergítico e/ou joanesítico (60-90% Hd; 5-10% Jo) o que representa uma paragênese retrógrada caracterizada pela presença de hornblenda e/ou biotita, pirrotita e magnetita. Nos *skarns* oxidados, a granada domina as fases prógradadas, o piroxênio é mais diopsídico (20-70 % Hd; 0-5 % Jo) e a fase retrógrada é caracterizada pela presença de epídoto, anfibólios da série tremolita-ferroactinolita e pirita.

Foram verificados e distinguidos *exoskarns* e *endoskarns*, de acordo com o tipo de rocha que substituem. Sendo os *exoskarns* resultado da substituição de rochas carbonatadas, e os *endoskarns* resultado da substituição da rocha granitóide.

5.5.2 Exoskarns

Os *exoskarns* resultaram, provavelmente, da transformação das rochas pré-existentes, sendo seu protólito uma rocha carbonatada, durante o metamorfismo de contato ou regional, por processos de metassomatismo que podem ter envolvido fluidos magmáticos e metamórficos.

Os *exoskarns* observados na área de estudo (Figura 45), ocorrem geralmente sob a forma de blocos e matacões (Figura 46) e correspondem a rochas de textura granoblástica a porfiroblástica, com granulação média a grossa, coloração que varia de verde claro a escuro, sendo constituídos geralmente por clinopiroxênio, quartzo, escapolita, granada, carbonatos, plagioclásio e como minerais acessórios titanita, apatita e às vezes tremolita. Por vezes observou-se que essa rocha era recortada por finos veios de carbonatos (Figura 47), além de porfiroblastos de calcita (Figura 48).

Figura 45: Skarn apresentando coloração esverdeada, com porfiroblastos de granada, e granulação média a grossa. UTM: 362676 / 9517912.



Figura 46: Exoskarns ocorrendo na área sob a forma de blocos e matações. UTM: 362676 / 9517912.



Figura 47: *Skarn* apresentando porfiroblastos de granada e sendo recortado por finos veios de carbonatos. UTM: 362676 / 9517912.

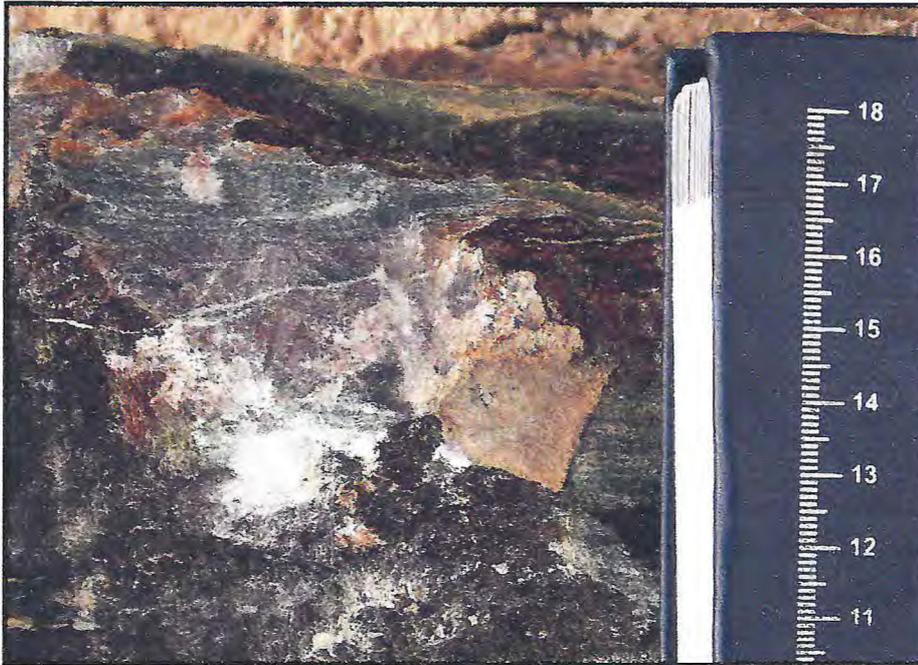


Figura 48: *Exoskarn* de coloração escura apresentando porfiroblastos de calcita. UTM: 362989 / 9514652.



5.5.3 *Endoskarns*

Os *endoskarns* também resultaram, provavelmente, da transformação das rochas pré-existentes, sendo que seu protólito é de origem magmática, durante o metamorfismo de contato ou regional, por processos de metassomatismo que podem ter envolvido fluidos magmáticos e/ou metamórficos.

Os *endoskarns* observados na área de estudo (Figura 49), ocorrem geralmente sob a forma de blocos e correspondem às rochas de textura porfiroblástica, com granulação média a grossa, coloração que varia de branco a verde claro, sendo constituídas geralmente por clinopiroxênio, quartzo, K-feldspato, plagioclásio e como minerais acessórios titanita, apatita e zoisita. Observou-se que essa rocha apresentava porfiroblastos de diopsídio.

Figura 49: *Endoskarn* apresentando coloração branca, granulação média a grossa, com porfiroblastos de diopsídio. UTM: 362040 / 9518979.



5.6 Ocorrência de Ferro e Manganês

5.6.1 Introdução

Na área de estudo, os minérios de ferro e manganês ocorrem sob a forma de blocos soltos, por vezes encontrados num mesmo afloramento, ocupando áreas de pequena extensão.

5.6.2 Ocorrências de Ferro

Provavelmente estão associados aos depósitos de *skarn*, onde a partir de intrusões de granitos enriquecidos em minerais ferro-magnesianos em meio às rochas carbonáticas e calcissilicáticas, houve um metamorfismo de contato e, conseqüentemente, metassomatismo havendo a concentração dos fluidos ricos em ferro nas zonas de contato e ao longo de estruturas tectônicas como dobras e zonas de falhas ou cisalhamento, dando origem aos minérios de ferro (Figura 50).

Figura 50: Minério de Ferro.



O minério de ferro foi identificado, através do MEV, como magnetitito maciço (Figura 51), que ocorre na área sob a forma de blocos soltos em pequena magnitude (Figura 52), apresenta coloração escura avermelhada,

estrutura maciça, magnetismo forte, alta densidade e é composto essencialmente por óxido de ferro (magnetita) e impurezas (silicatos).

Figura 51: Minério de ferro identificado como magnetitito maciço. UTM: 361980 / 9517486.



Figura 52: Afloramento de magnetitito maciço na forma de fragmentos irregulares e centimétricos. UTM: 361980 / 9517486.



Além do magnetitito, foi observada uma ocorrência de chapéu de ferro (*gossan*), sob a forma de blocos soltos (Figura 53) na porção NW da área, com extensão pouco expressiva (Figura 54).

Figura 53: Minério de ferro do tipo chapéu de ferro (*gossan*). UTM: 362308 / 9516115.



Figura 54: Afloramento de fragmentos irregulares e centimétricos de minério de ferro do tipo *gossan* em meio a blocos de quartzo. UTM: 362308 / 9516115.



5.6.3 Ocorrências de Manganês

O minério de manganês ocorre na área sob a forma de blocos soltos em pequena quantidade (Figura 55), apresenta coloração marrom escuro, estrutura maciça, alta densidade e é composto essencialmente por óxido de manganês, silicatos e carbonatos, como pode ser observado nas análises realizadas utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV), cujos resultados encontram-se no capítulo 07.

Acredita-se que sua origem seja sedimentar, sendo necessário um estudo mais aprofundado e específico para a obtenção de conclusões mais seguras quanto à sua gênese.

Figura 55: Afloramento de minério de manganês e magnetitos associados, em forma de blocos soltos. UTM: 363307 / 9516353.



5.7 Recursos Minerais

A região de Santa Quitéria vem sendo alvo de pesquisa e exploração por diversas empresas e investidores do setor mineral. As substâncias de interesse correspondem principalmente ao fosfato, urânio, minério de ferro e granito.

Uma das principais jazidas de fosfato e urânio de Itataia, está localizada no município de Santa Quitéria, CE, onde a Galvani em parceria com a INB (que ficará com o Urânio) pretende produzir 240.000 toneladas/ano de P_2O_5 a partir de 2013/2014 (DNPM, 2012).

A diversidade de formas, tamanhos, idades e composições dos granitóides, associado à existência de inúmeras lentes de rochas calcissilicáticas, faz com que o potencial metalogenético do ASMQ seja bastante promissor para metais base como Fe, Cu, Au, Zn-Pb, W, Mo, Mn e Sn do tipo *Skarn*.

Na área de estudo, as mineralizações observadas foram basicamente ferro e manganês, sendo este em menor proporção. As ocorrências de ferro estão associadas a rochas ricas em granada e piroxênio, conhecidas como *skarns*, geradas pela interação entre um plúton granítico e rochas carbonatadas (Biondi, 2003). A origem do manganês é ainda desconhecida.

5.8 Conclusões

Cuncluiu-se que as rochas supracrustais (mármore, anfíbolitos e rochas calcissilicáticas) bem como rochas de origem magmáticas, foram submetidas a um evento metamórfico/deformacional, onde estas foram parcialmente fundidas, dando origem aos migmatitos. Num segundo evento deformacional, essas rochas foram intrudidas por plútons graníticos, originando assim os *Skarns* e algumas mineralizações de ferro e manganês.

A geologia estrutural da área é marcada principalmente por dois eventos metamórficos/deformacionais, sendo o primeiro caracterizado por *nappes/cavalgamentos* cujas deformações são dúcteis, originando feições estruturais, tais como foliações, lineações e dobramentos. O segundo evento é caracterizado por transcorrências cujas feições são rúpteis, originando estruturas tais como falhas e fraturas.

6 PETROGRAFIA

6.1 *Introdução*

Foram realizadas 53 descrições petrográficas para a caracterização geológica da área de estudo. Segue a descrição de acordo com a estratigrafia local.

6.2 *Mármore*

Ocorrem na área três tipos distintos de mármore que podem ser puros ou impuros, isotrópicos ou cisalhados.

O primeiro tipo de mármore é cisalhado e apresenta, em seção delgada, uma camada pelítica/biotítica extremamente deformada (Figura 56). A deformação é evidenciada por microlamelas de biotita intensamente dobrada e descontínua (Figura 57). Trata-se de um mármore calcítico/dolomítico, impuro, deformado, marcado por inúmeras microfraturas preenchidas por carbonatos neo-formados, de granulação grossa. A textura é granoblástica, por vezes apresentando uma massa carbonática. São comuns nesses mármore, fragmentos angulosos descontínuos, constituídos predominantemente por biotita microlamelar intensamente dobrada. Em algumas porções, ocorre um microfraturamento intenso ao longo dos planos de clivagem, desenvolvendo planos que são preenchidos por um material ferroso (Figura 58).

Figura 56: Camada pelítica extremamente deformada, rompida e dobrada, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

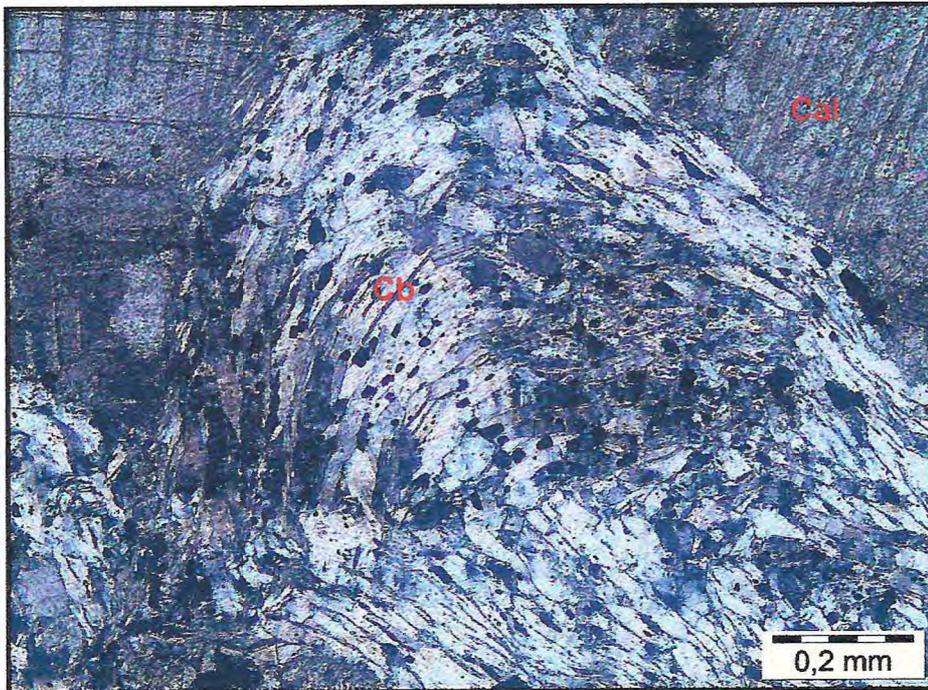


Figura 57: Microlamelas de biotita intensamente dobradas, bordejadas por agregados lenticularizados de opacos dispostos de maneira descontínua, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).

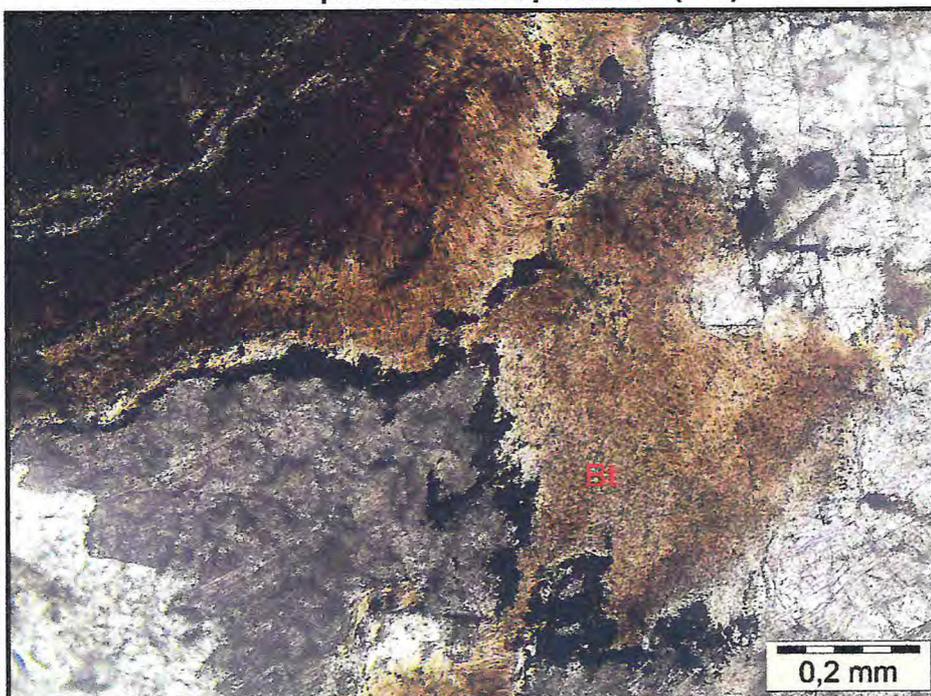
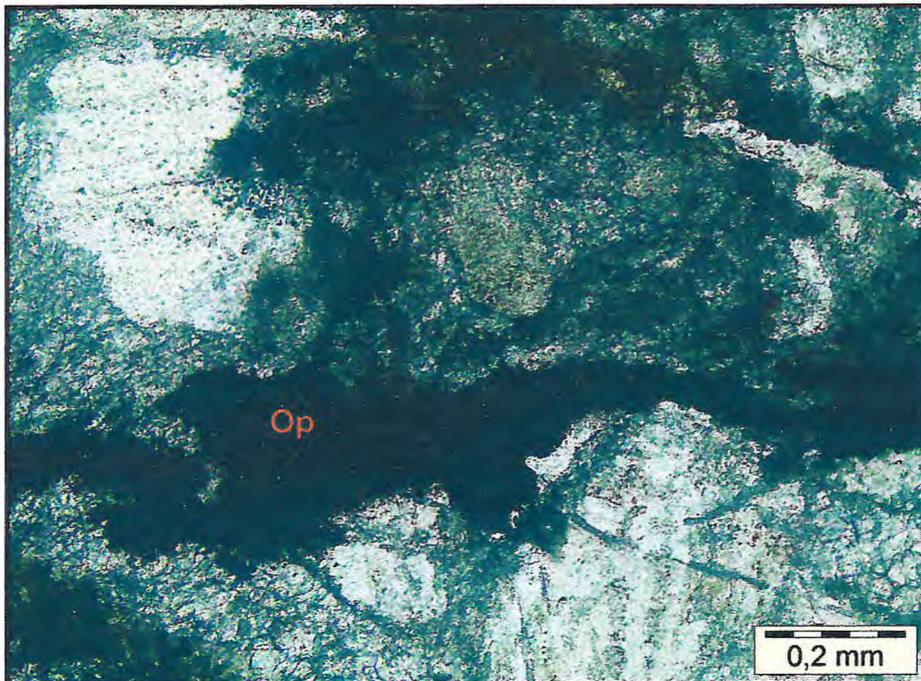


Figura 58: Material ferroso percolando e preenchendo clivagens no mármore, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).



A assembleia mineral é composta predominantemente por cristais de calcita (49%), dolomita (20%), biotita (20%), massa carbonatada (10%) e opacos (siderita e pirita) (1%).

A calcita/dolomita é incolor, apresenta relevo baixíssimo, forma geralmente de sub-diomórfica a xenomórfica, hábito romboédrico, anedral, clivagem romboédrica perfeita em duas direções (Figura 59), formando ângulos de aproximadamente $75^{\circ}/105^{\circ}$ (Figura 60), apresentando dupla refração. Através da análise de microscopia eletrônica de varredura, que será abordado no capítulo seguinte, foi possível observar que, em algumas porções a dolomita aparece bordejada por opacos (provavelmente siderita).

Figura 59: Cristal de calcita apresentando clivagem perfeita em duas direções, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

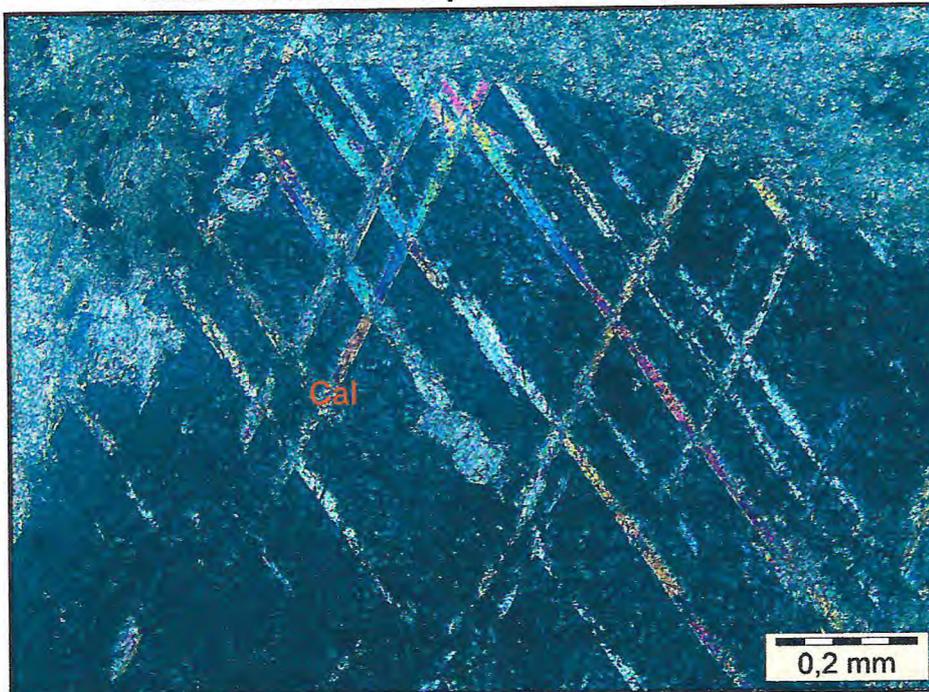
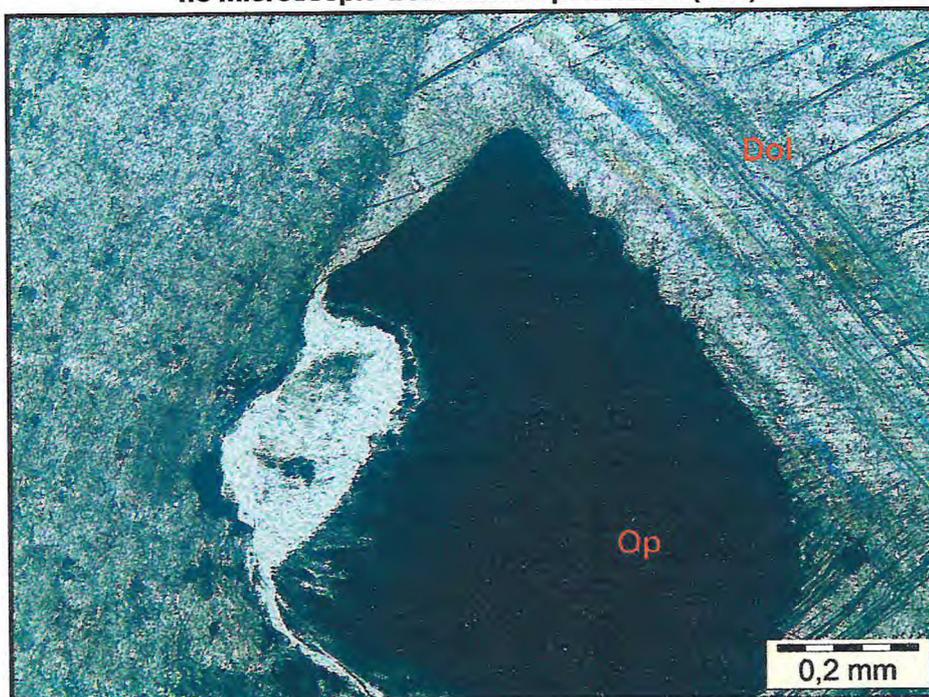


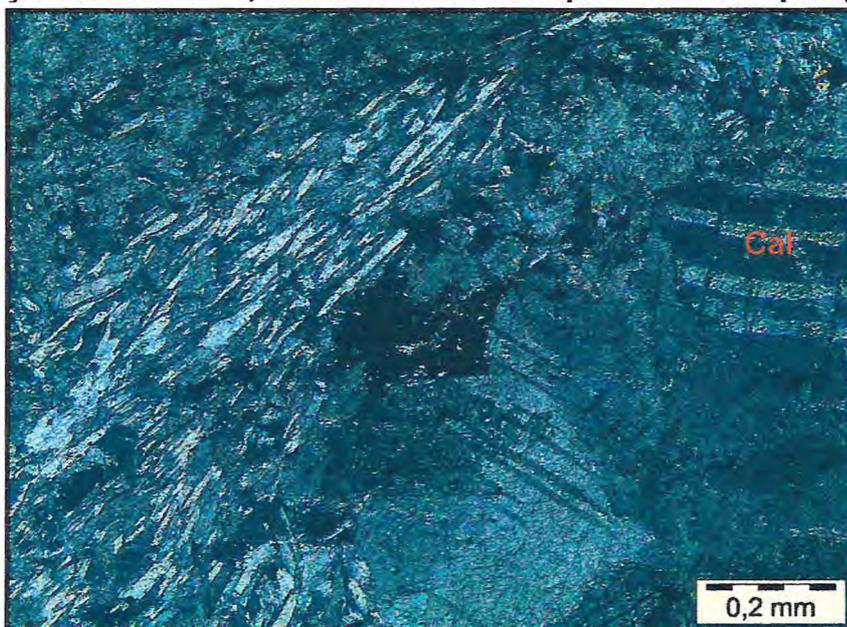
Figura 60: Dolomita bordejada por cristais de opacos, provavelmente siderita, observado no microscópio à luz natural polarizada (10X).



A biotita apresenta hábito micáceo, em fragmentos angulosos descontínuos, microlamelares, de coloração marrom, intensamente dobrada, por vezes bordejada por agregados lenticularizados de opacos.

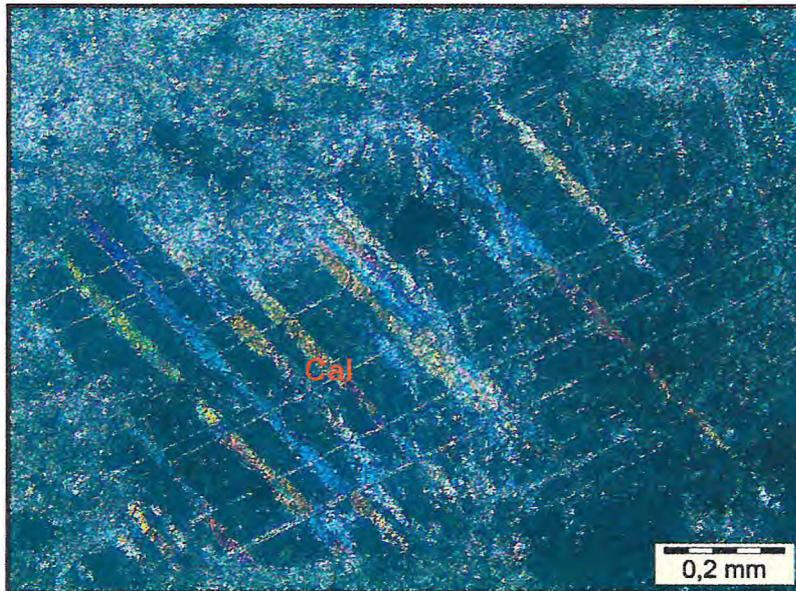
O segundo tipo de mármore apresenta níveis pelíticos interrompidos, deformados, dobrados desenvolvendo, em algumas porções, uma foliação anastomosada (Figura 61). Foi possível observar a presença de clinocloro.

Figura 61: Níveis pelíticos interrompidos, deformados, dobrados, envolvendo uma foliação anastomosada, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



É provável que os porfiroblastos de carbonato (Figura 62), que são resultado de um metamorfismo inicial, tenham sido submetidos a um cisalhamento dúctil numa segunda fase de deformação, gerando uma massa de granulação mais fina (Figura 62).

Figura 62: Porfiroblastos de carbonato envolvidos por uma massa de granulação mais fina, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



A assembleia mineral é composta por cristais de dolomita (30%), massa carbonatada (69%) e opacos (1%).

A dolomita é incolor, apresenta baixo relevo, forma variando de subdiomórfica a xenomórfica, hábito romboédrico, anedral, clivagem romboédrica perfeita em duas direções, formando ângulos de aproximadamente $75^{\circ}/105^{\circ}$ com dupla refração.

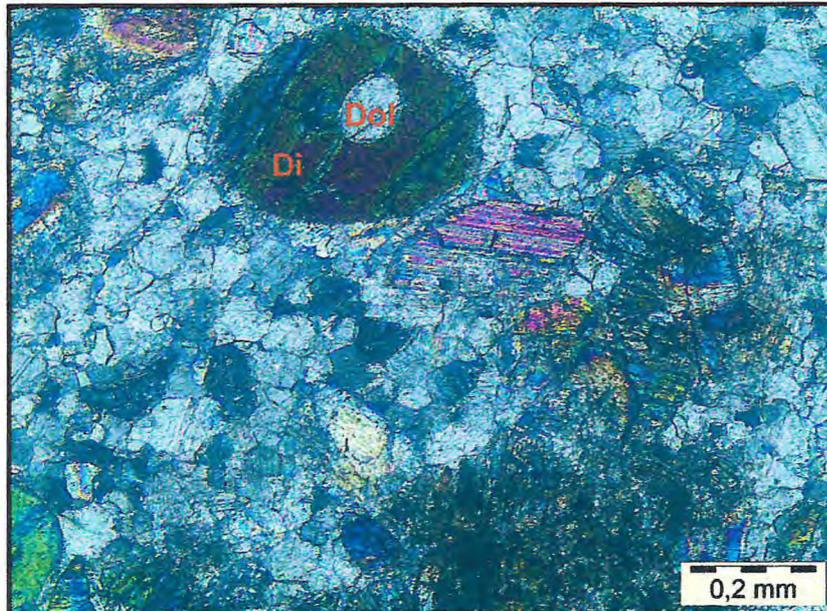
A massa carbonatada apresenta porções pelíticas com presença de clinocloro com uma foliação anastomosada.

O terceiro tipo de mármore é mais impuro, homogêneo, apresentando matriz granular de textura granoblástica com porfiroblastos de calcita e de diopsídios microfraturados. Alguns níveis são mais ricos em diopsídio e outros são deformados, marcados por micro-boudinagem.

A assembleia mineral é composta predominantemente por massa carbonatada (60%), cristais de diopsídio (35%) e cristais de calcita (05%).

Os porfiroblastos de diopsídio são polissintéticos, apresentam pleocroísmo e clivagem perfeita. Por vezes esses porfiroblastos de diopsídio envolvem cristais de dolomita (Figura 63).

Figura 63: Porfiroblastos de diopsídio, onde é possível observar que alguns desses porfiroblastos envolvem cristais de dolomita, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



6.3 Anfibolito

Os anfibolitos que ocorrem na área apresentam geralmente textura granoblástica e em algumas porções nota-se uma textura deguçada, marcada pela orientação irregular dos anfibólios. Esses aspectos microscópicos sugerem uma recristalização no fácies anfibolito (Figura 64). A presença de epidoto e clorita indicam um episódio retrógrado no metamorfismo. Observou-se na rocha um microfraturamento dos cristais, que pode ter sido originado por cisalhamento (Figura 65).

Figura 64: Textura granoblástica da rocha, indicando que a mesma foi recrystalizada no fácies anfibolito, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).

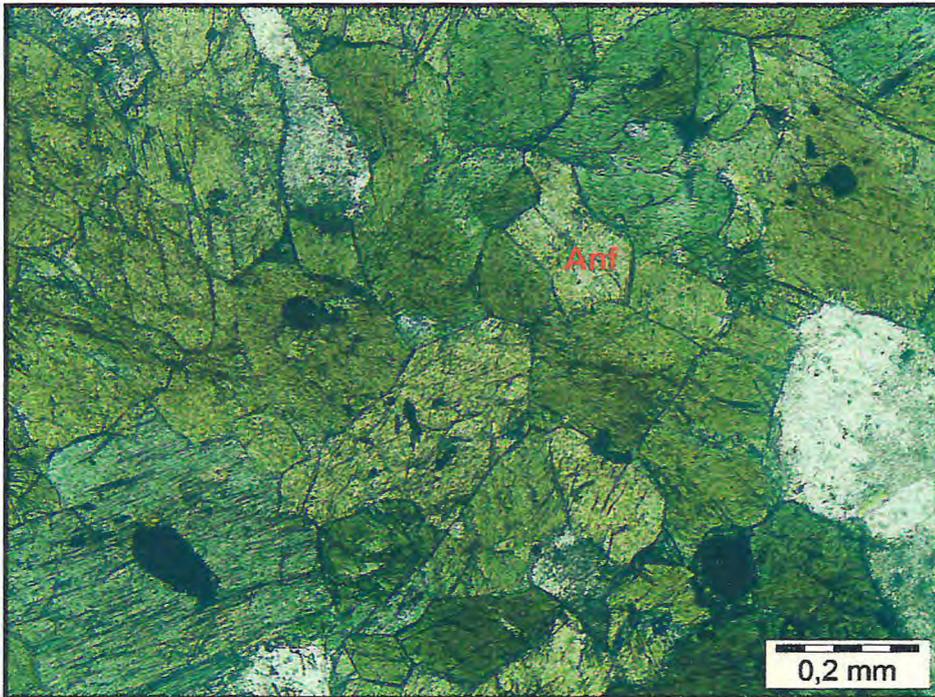
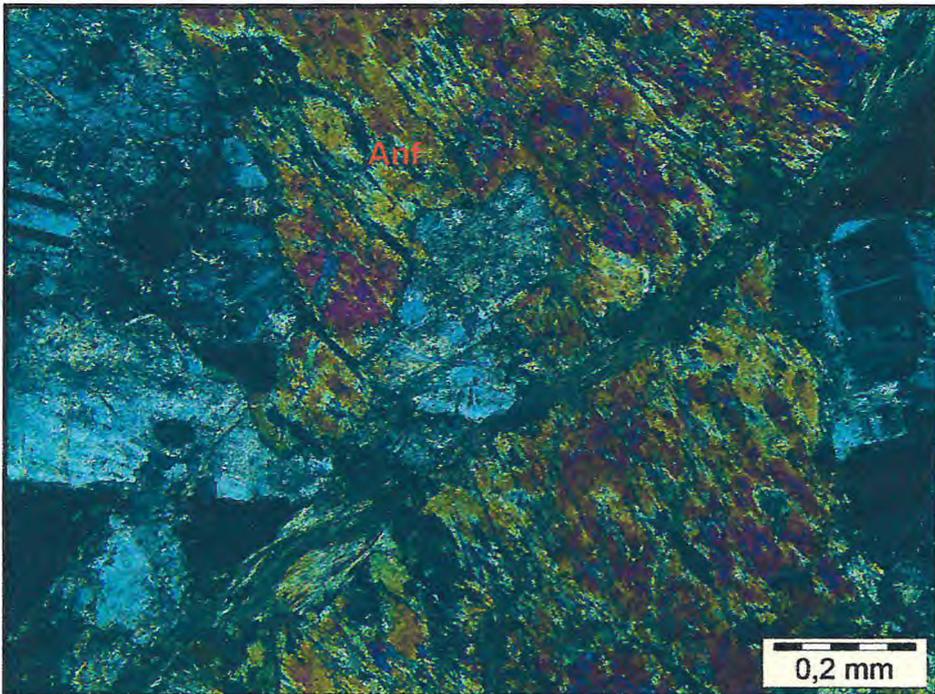


Figura 65: Micro cisalhamento no anfibólio, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



A assembleia mineral é composta essencialmente por cristais de anfibólio (63%), plagioclásio (14%), massa carbonatada (7%), titanita (4%), opacos (6%), Cpx (3%) ocorrendo apatita, epidoto, clorita, rutilio e zircão (3%), como minerais acessórios

É possível observar em algumas porções da lâmina que os cristais de opacos encontram-se envolvidos por titanita (Figura 66), indicando uma provável alteração de ilmenita para titanita. Por vezes notam-se inclusões de opacos nos planos de clivagem no núcleo dos anfibólios (Figura 67), *chatter inclusos*, feição comum decorrente do metamorfismo, onde na deformação os opacos ricos em Fe tendem a migrar ao longo dos planos de clivagem. Alguns opacos apresentam borda de titanita, provavelmente tratando-se de titanomagnetita. Por vezes esses opacos são tardios, alguns romboédricos. Em algumas porções os cristais de opacos representam aproximadamente 10% da composição da assembleia mineral da rocha.

Figura 66: Titanita envolvendo cristais de opacos, indicando provavelmente que o opaco está se alterando para titanita, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).

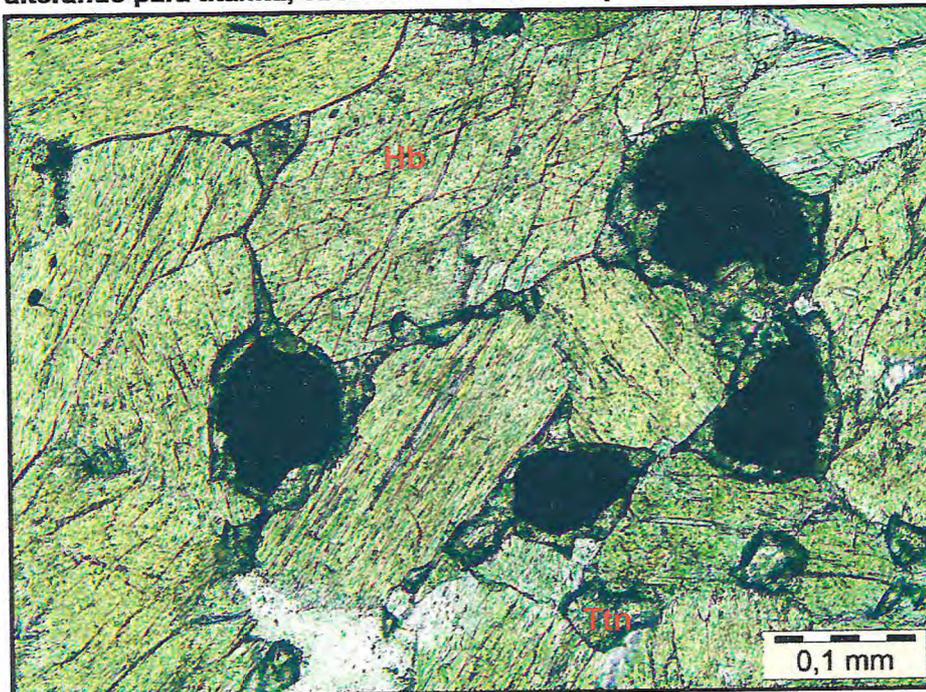
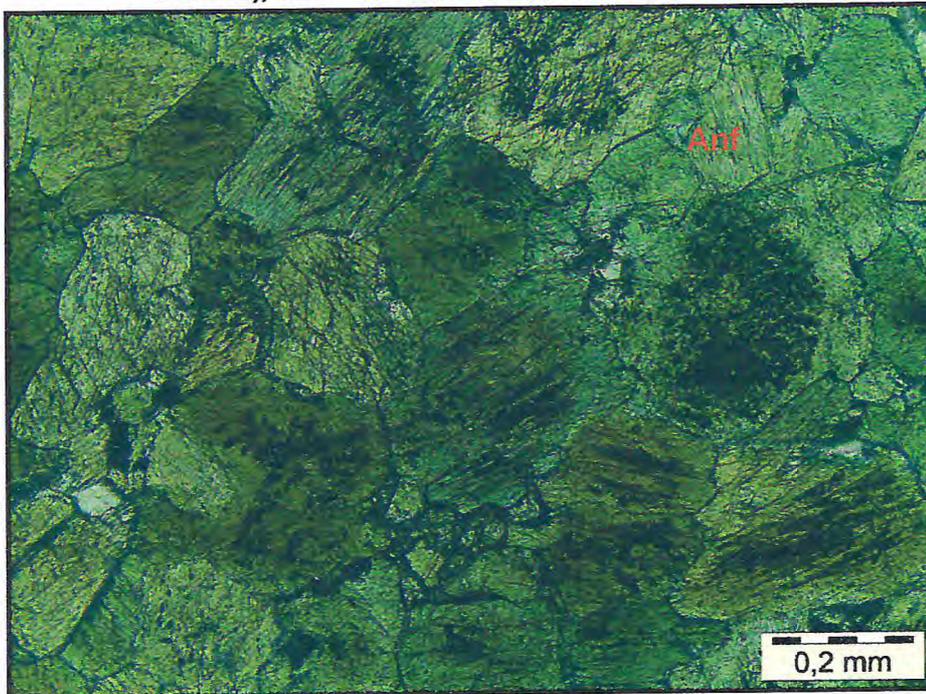


Figura 67: Inclusões de opacos preenchendo planos de clivagem no anfibólio (chatter inclusos), observada à luz natural polarizada (10X).



É provável que os anfibólios sejam resultado da alteração dos clinopiroxênios (Figuras 68 e 69), tendo sido identificados como hornblenda (Figura 70), que apresenta coloração variando entre verde claro e castanho, com hábito prismático, pleocroísmo e clivagem perfeita. A actinolita apresenta hábito fibroso, coloração verde escuro, clivagem bem desenvolvida e birrefringência alta (Figura 71).

Figura 68: Cristais de clinopiroxênio alterando para hornblenda, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).

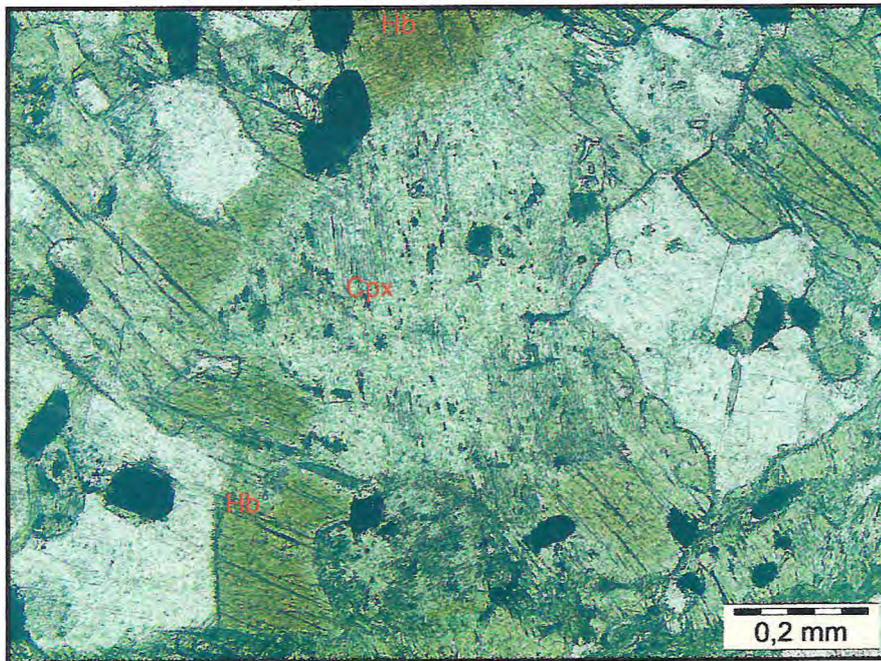


Figura 69: Cristais de clinopiroxênio alterando para hornblenda, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

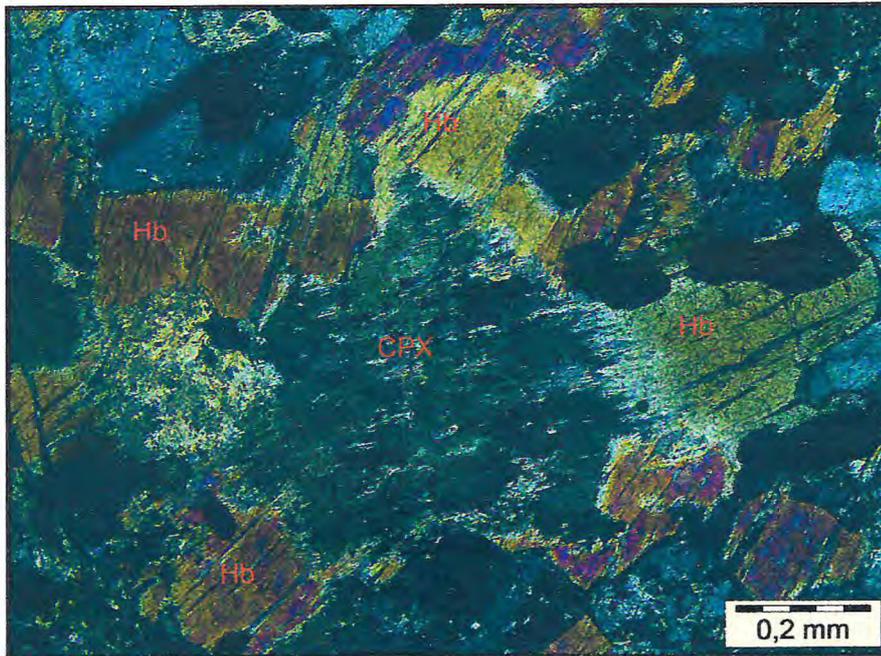


Figura 70: Cristais de hornblenda apresentando coloração castanho, hábito prismático e clivagem perfeita, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).

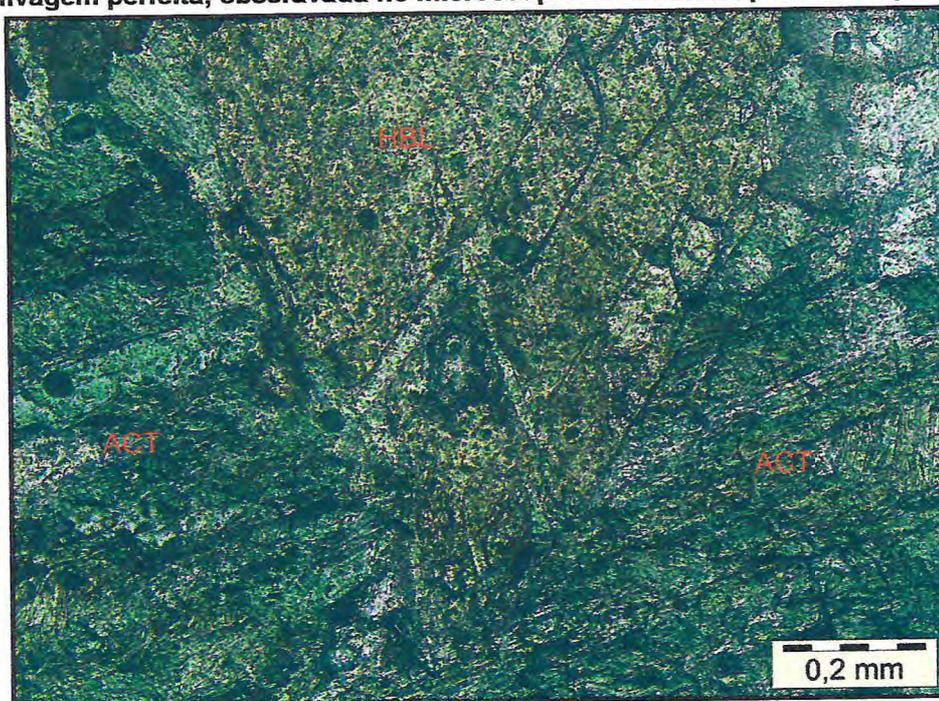
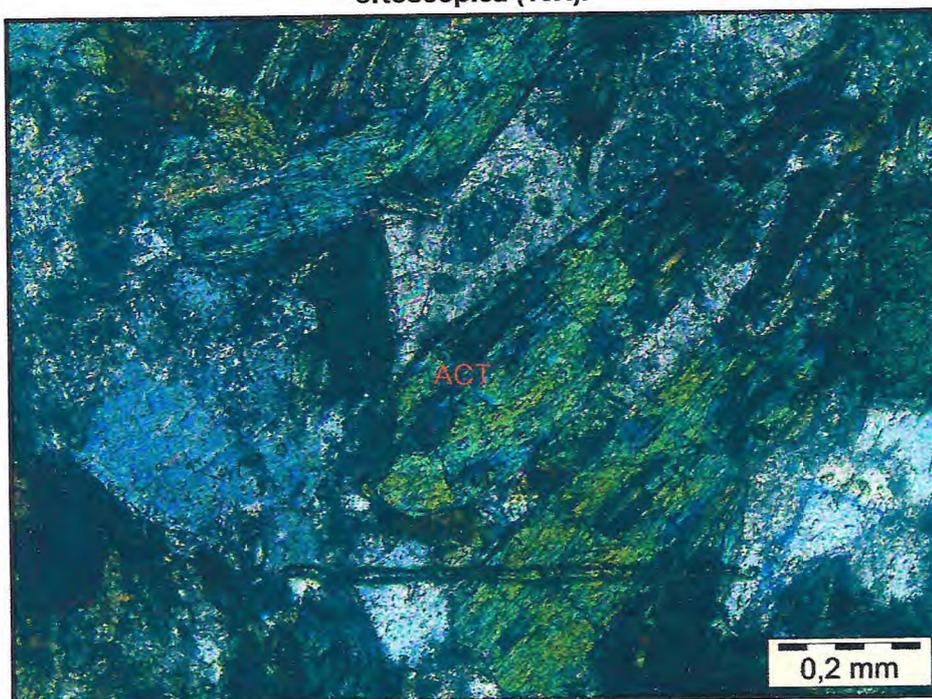


Figura 71: Cristais de actinolita apresentando hábito fibroso, coloração verde escuro, clivagem bem desenvolvida e alta birrefringência, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



A hornblenda recristalizou em agregados poligonais (Figura 72) e em algumas porções aparece incorporando cristais de plagioclásio (Figura 73). Alguns anfibólios são zonados, indicando origem magmática. Nota-se a presença de relíquias de clinopiroxênio. Observa-se, em algumas porções, cristais de anfibólio alterando para clorita e actinolita (Figuras 74 e 75).

Figura 72: Hornblenda recristalizada em agregados poligonais, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).

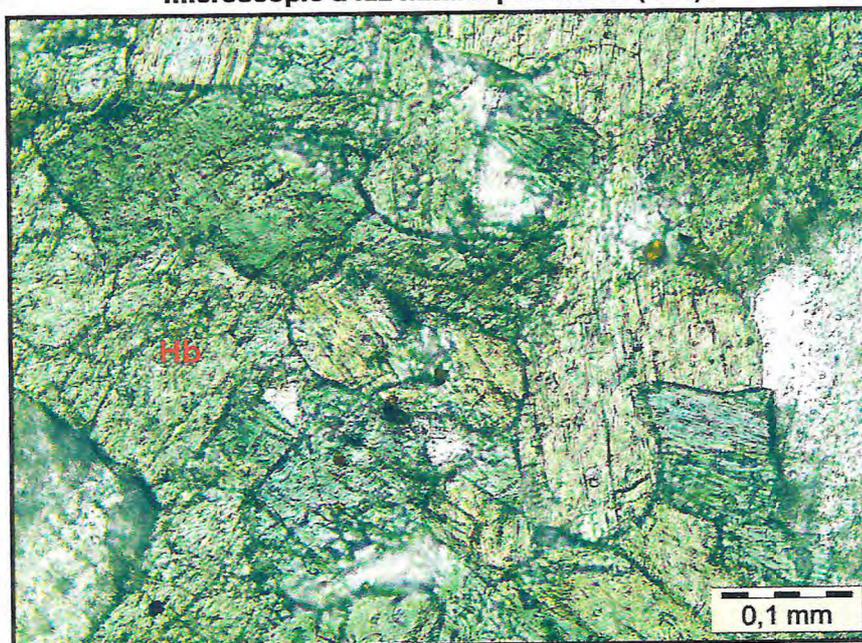


Figura 73: Cristais de hornblenda incorporando cristais de plagioclásio, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

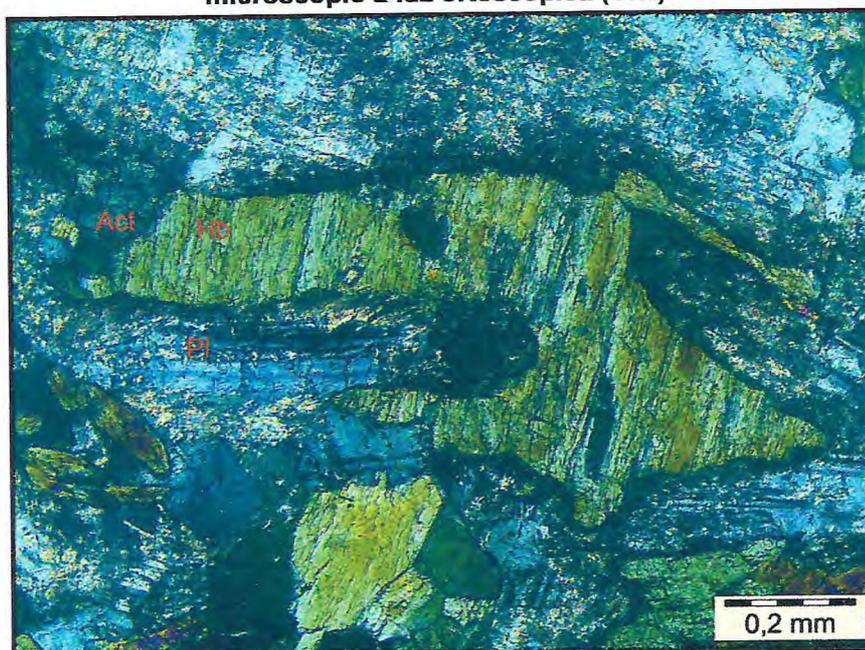


Figura 74: Cristais de hornblenda alterando para actinolita, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).

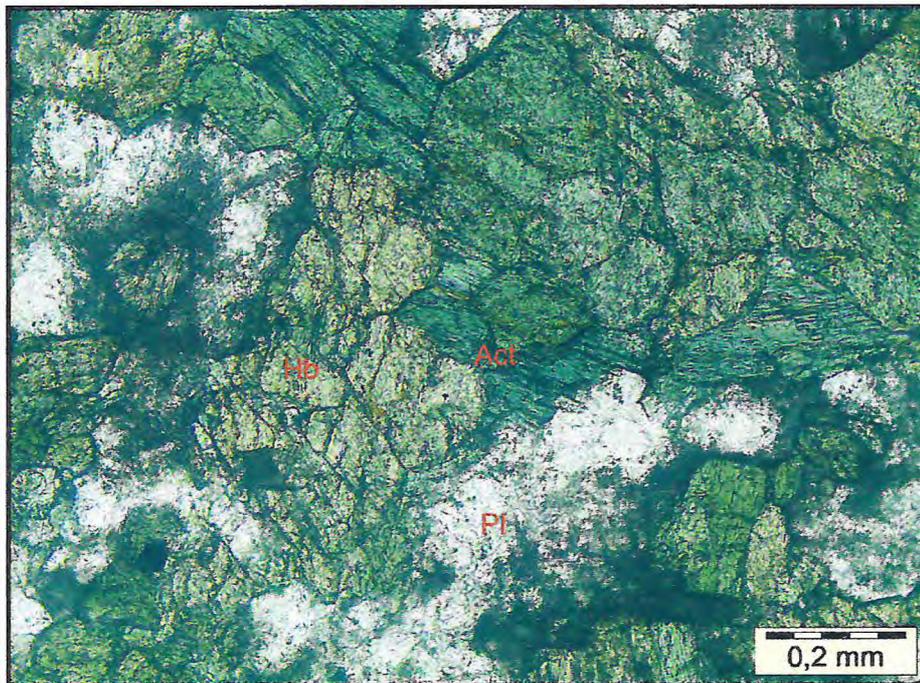
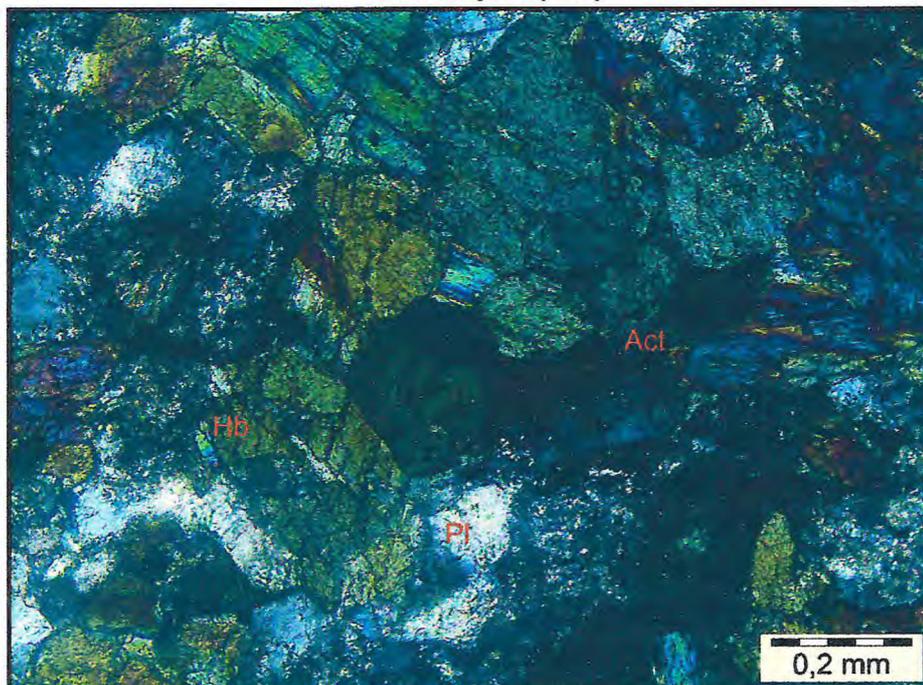


Figura 75: Cristais de hornblenda alterando para actinolita, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



Os cristais de plagioclásio são, em algumas porções, euédricos, estando muito bem definidos para serem sedimentares, sendo classificados como magmáticos (Figura 76). Em outras porções, esses cristais de plagioclásio apresentam granulação poligonal de aproximadamente 120° entre si (Figura 77), isso é típico de recristalização, indicando que são metamórficos. Essa feição é gerada em metamorfismo de alto grau, no fácies anfibolito alto. Alguns cristais de plagioclásio tipicamente magmáticos, apresentam-se prismáticos, alongados, tendo em torno de 1mm, inclusões de CPx, geminação *Carlsbad* e polissintética ao mesmo tempo (Figura 78). Alguns cristais de plagioclásio apresentam bordas límpidas (mais cálcicas), que são mais susceptíveis a alteração do que o núcleo, indicando que são zonados. Notou-se ainda, a presença de cristais de plagioclásio tabulares (Figura 79) e plagioclásio saussuritizado, sendo resultado de alteração hidrotermal.

Figura 76: Cristais de plagioclásio bem definidos, euedrais, indicando sua origem magmática, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

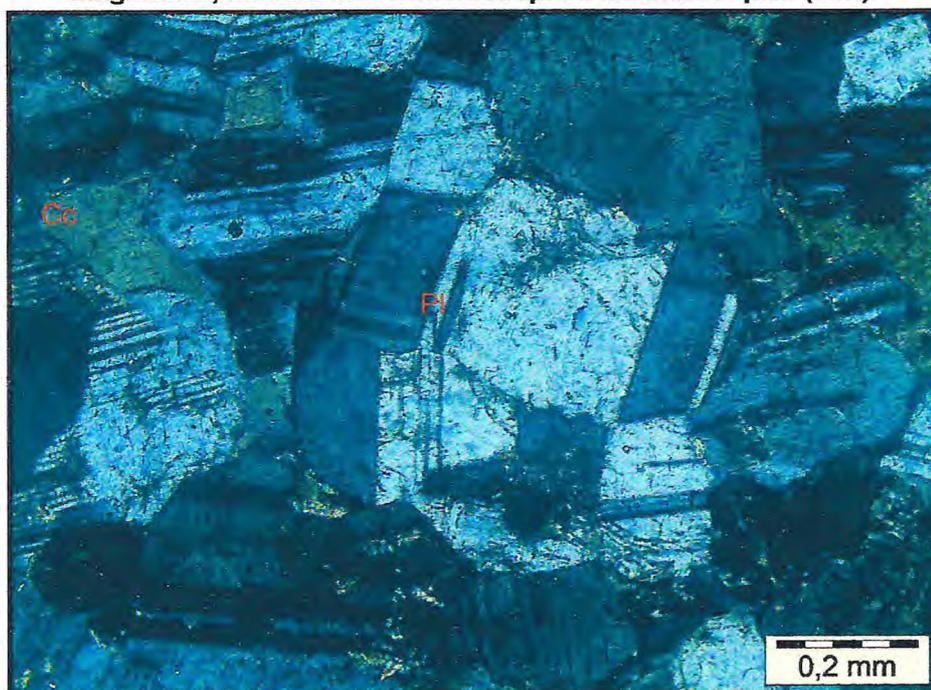


Figura 77: Plagioclásio de granulação poligonal com Ângulo de aproximadamente 120° entre si, feição essa típica de recristalização indicando que é metamórfico, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

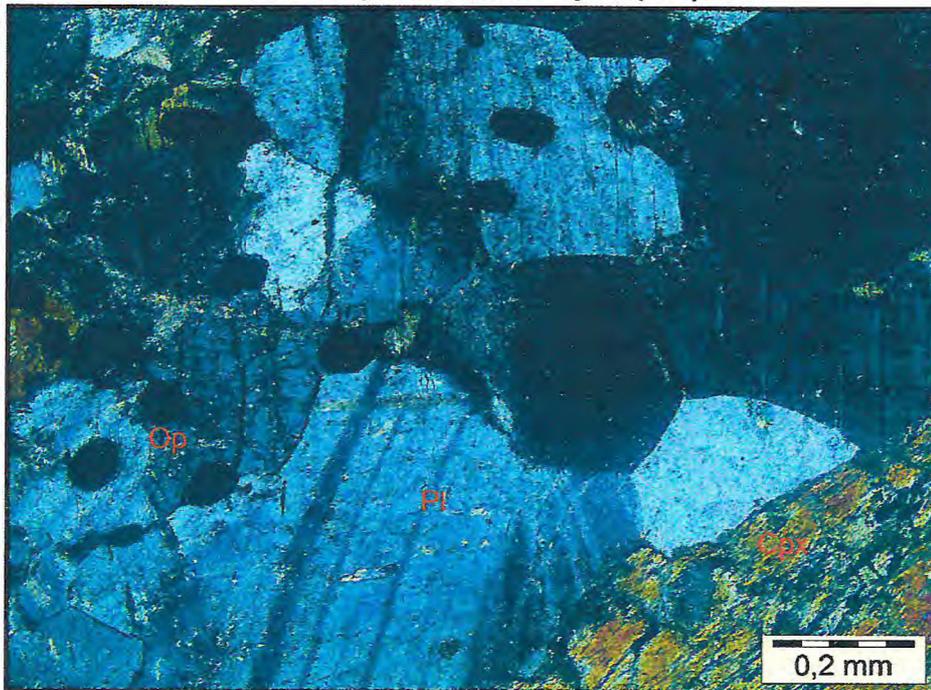


Figura 78: Cristal de plagioclásio prismático, alongado, com tamanho de aproximadamente 1mm, com inclusão de CPx, geminações Carlsbad e polissintética ao mesmo tempo, feições essas típica de plagioclásio magmático, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X)

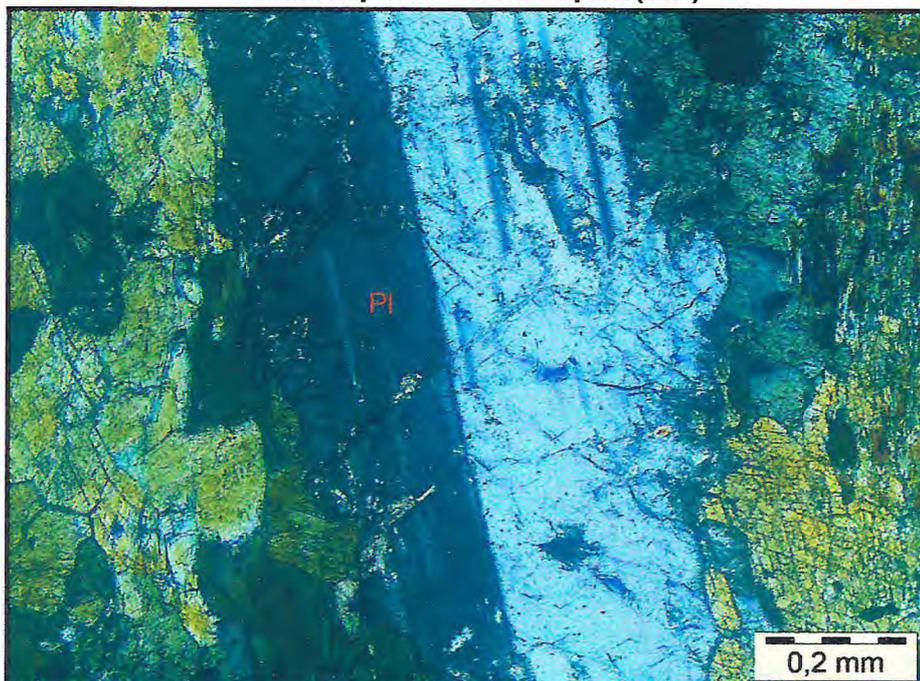
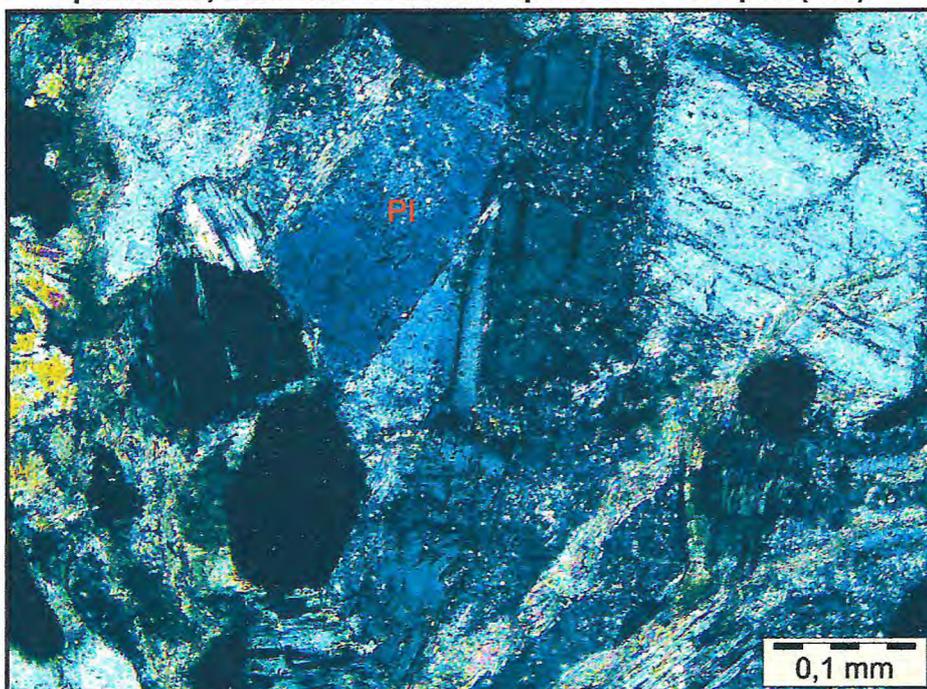


Figura 79: Cristais de plagioclásio tabulares, observados em microscópio à luz polarizada, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).



A massa carbonática é produto de alteração do plagioclásio. Foi possível observar nessa massa a presença de mica branca, plagioclásio saussuritizado e plagioclásio primário. O carbonato aparece preenchendo espaços entre cristais de plagioclásio, gerado num evento mais tardio, associado à alterações (Figura 80). Foi possível observar a presença de periclina na massa carbonática (Figura 81).

Figura 80: Carbonato preenchendo os espaços entre os cristais de plagioclásio em um evento mais tardio associado às alterações, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

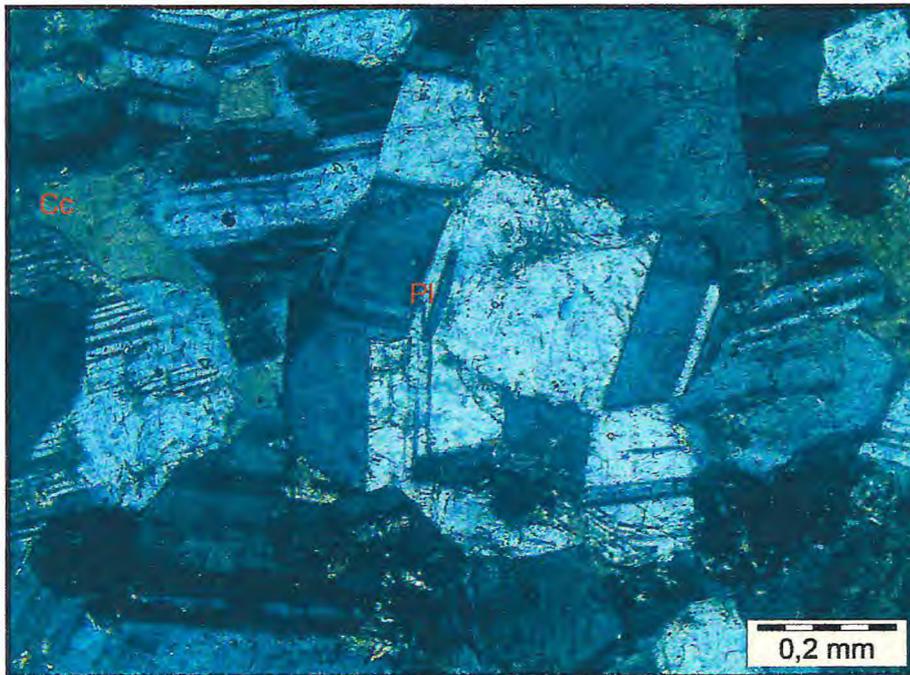
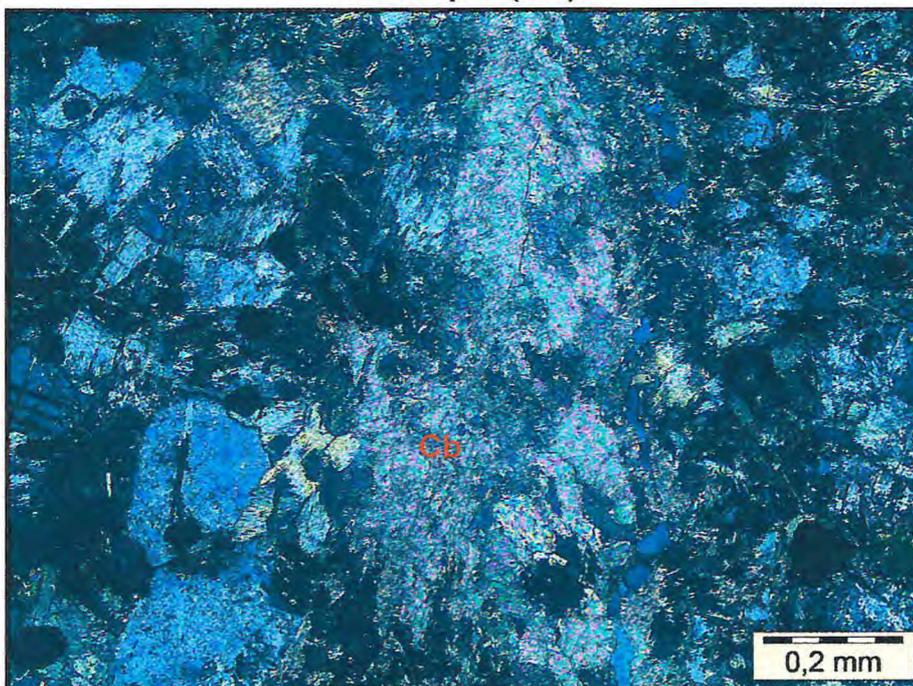


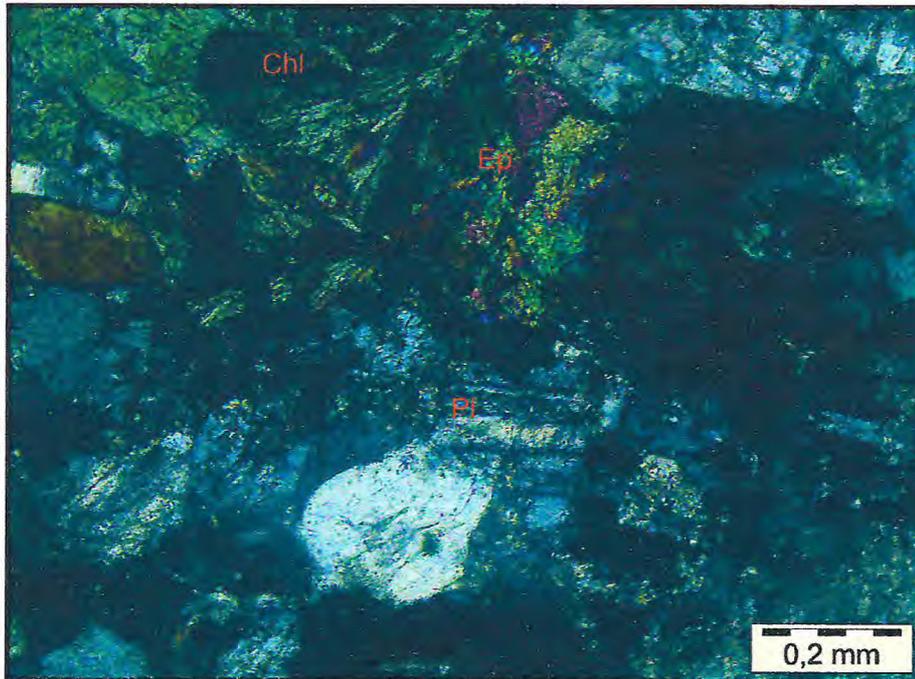
Figura 81: Presença de periclina na massa carbonática, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



A clorita apresenta extinção em leque (Figura 82), indicando que é secundária (neoformada) e apresenta birrefringência alta.

O epidoto (Figura 82) está associado à clorita e apresenta uma birrefringência mais elevada e pode ser resultado da alteração do anfibólio.

Figura 82: Clorita apresentando extinção em leque, indicando ser secundária (neoformada), apresentando birrefringência alta e epidoto associado à clorita, apresentando birrefringência mais elevada, sendo provavelmente resultado da alteração do anfibólio, observada no microscópio à luz ortoscópica.



A titanita apresenta-se por vezes envolvendo cristais de opacos ou preenchendo interstícios.

Foi possível observar na lâmina a presença de cristais de rutilo (Figura 83), apatita (Figura 84) e zircão (Figura 84) que foram classificados como minerais acessórios.

Figura 83: Presença de cristais de rutilo inclusos no anfibólio, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).

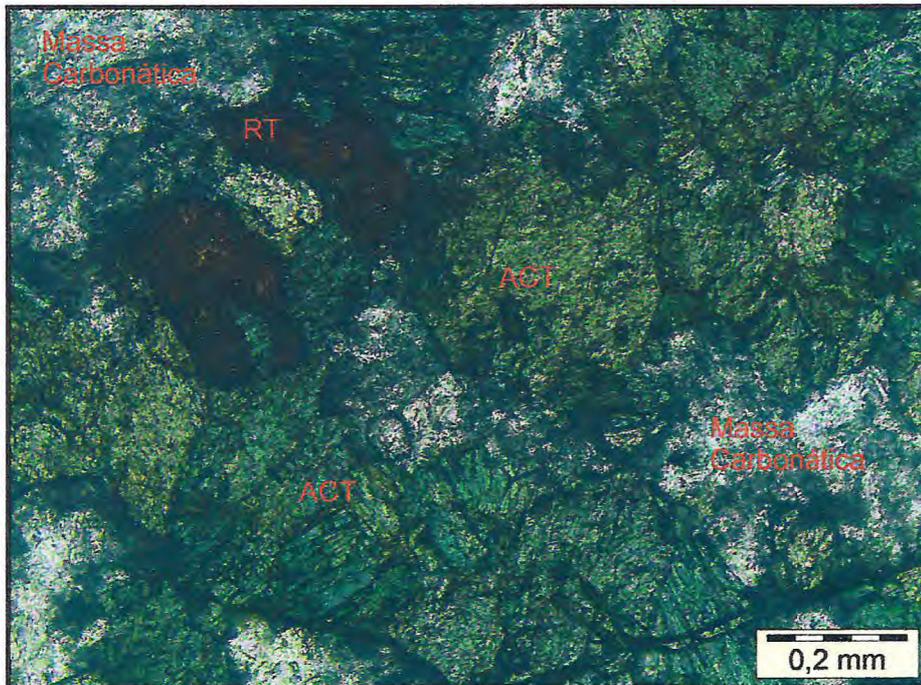
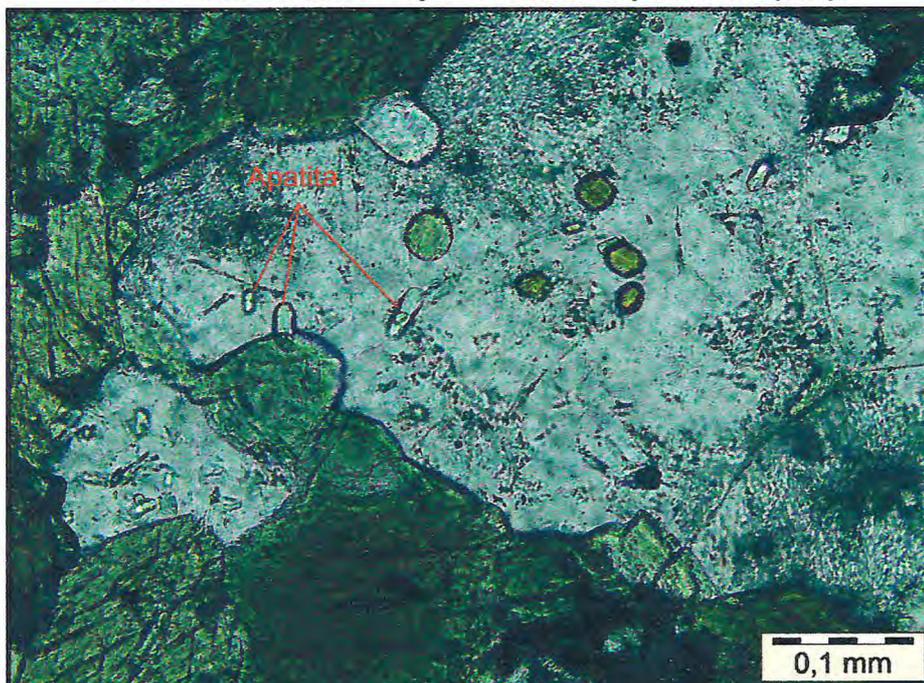


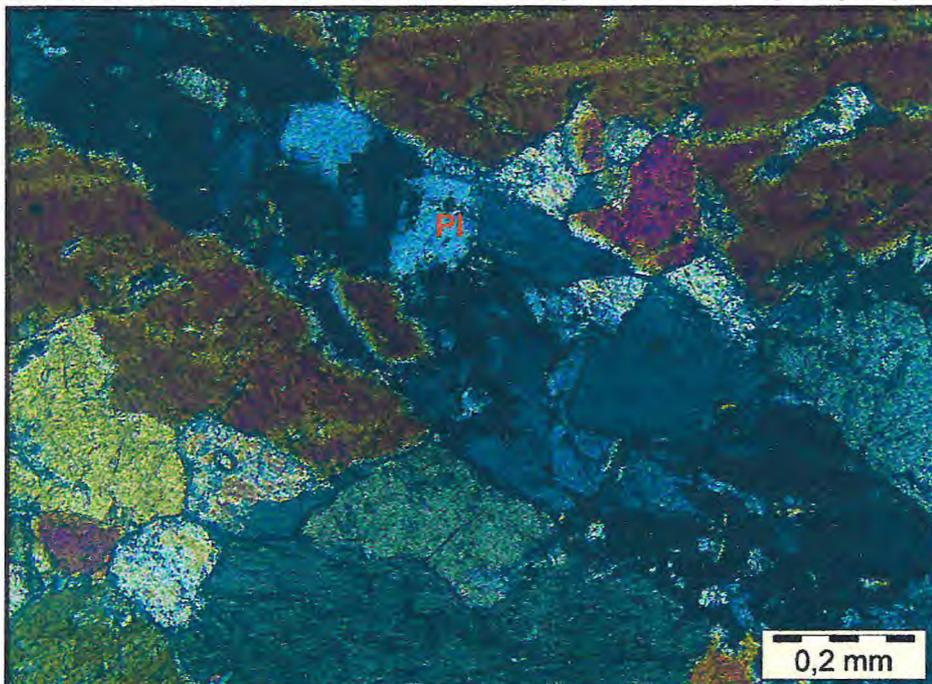
Figura 84: Cristais de apatita e zircão, classificados como minerais acessórios, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).



6.4 Calcissilicática

As rochas calcissilicáticas apresentam uma textura granoblástica com porfiroblastos de diopsídio, sendo possível observar em algumas porções camadas carbonáticas. Podem ser foliadas ou não e apresentam granulação fina a média. Por vezes essas rochas são recortadas por fraturas preenchidas por plagioclásio albítico (Figura 85) ou carbonatos. Houve um episódio de metamorfismo de alto grau seguido por retrometamorfismo para gerar a tremolita.

Figura 85: Fraturas preenchidas por plagioclásio albítico recortando a rocha calcissilicática. observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).

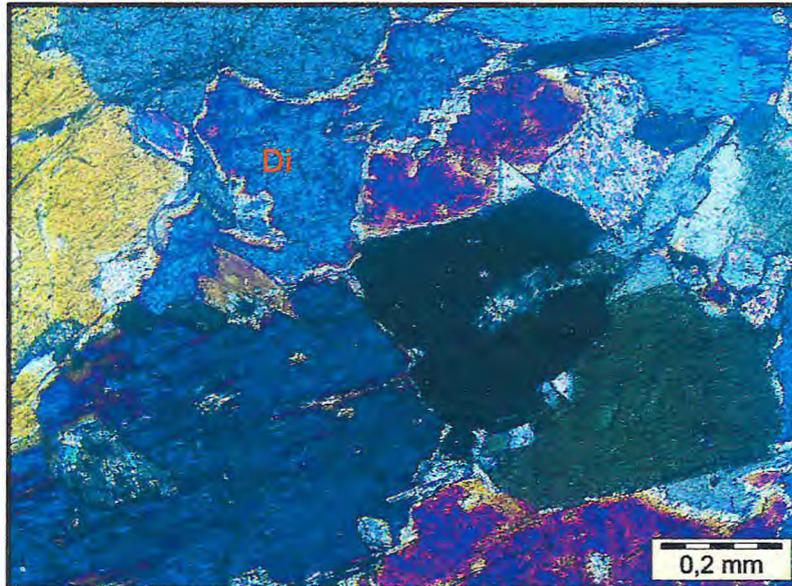


A assembleia mineral é composta essencialmente por cristais de diopsídio (50%), plagioclásio (23%), carbonatos (20%), titanita (3%), tremolita (3%) e opacos e humita (1%).

Os carbonatos aparecem em algumas porções da rocha preenchendo os interstícios e foi classificado com sendo preferencialmente dolomítico, pois notou-se início de recristalização poligonal.

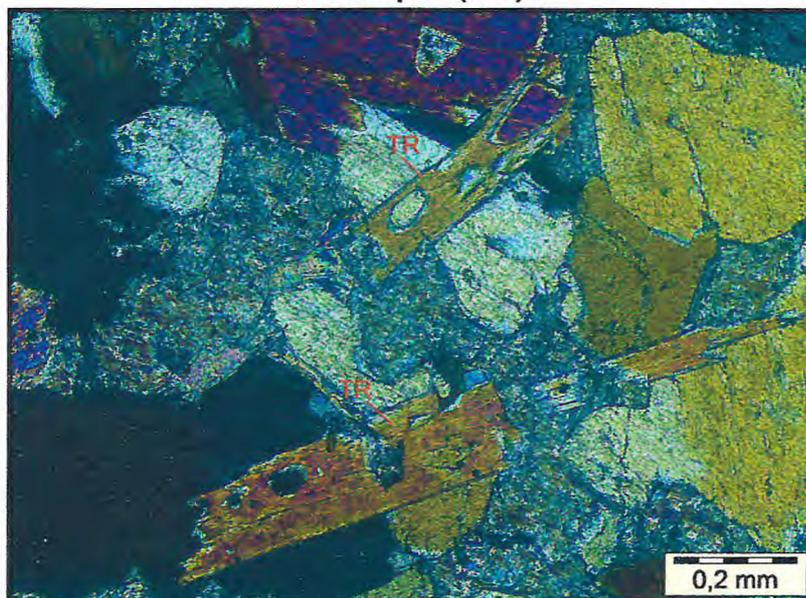
Os cristais de diopsídio apresentam-se distribuídos homogeneamente por toda a rocha (Figura 86), apresentando hábito subeudral, clivagem paralela e em duas direções, relevo alto, birrefringência alta e extinção oblíqua.

Figura 86: Porfiroblastos de diopsídio apresentando birrefringência alta, distribuídos de maneira homogênea ao longo da rocha, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).



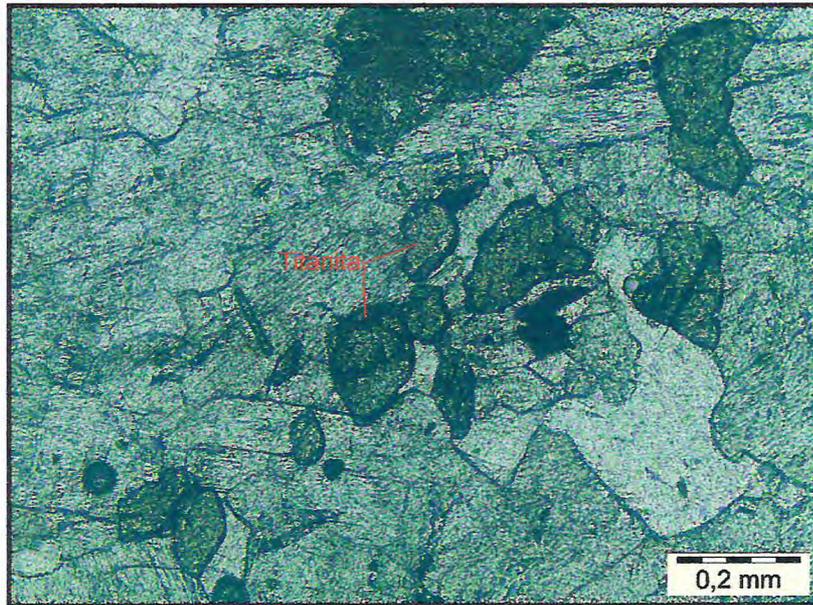
A tremolita apresenta-se em cristais de hábito prismático, clivagem perfeita, relevo alto, extinção oblíqua, birrefringência moderada e pleocroísmo leve a moderado (Figura 87).

Figura 87: Cristais de tremolita de hábito prismático, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).



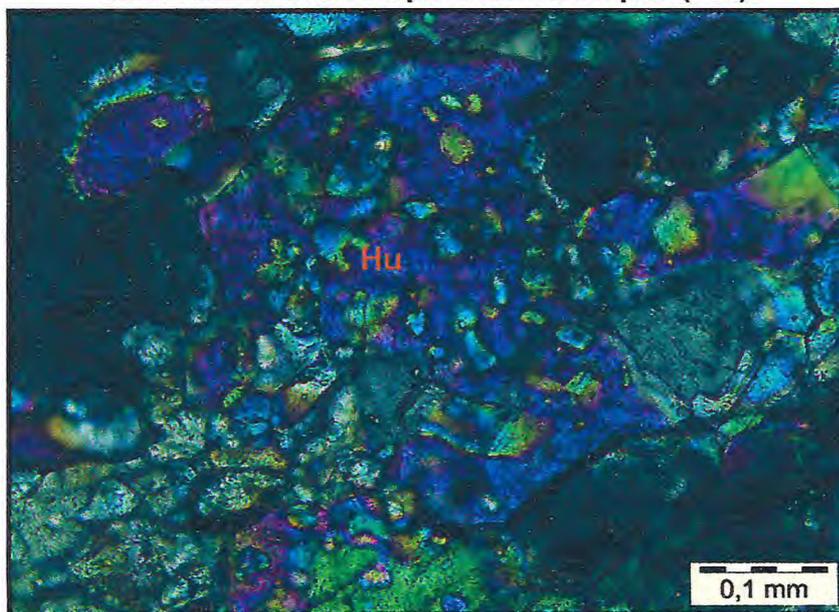
Os cristais de titanita (Figura 88) foram observados ao longo da rocha, apresentando hábito eudral, por vezes losangular, relevo alto, birrefringência alta e com algum pleocroísmo.

Figura 88: Cristais de titanita apresentando hábito eudral e relevo alto, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).



A humita ocorre na forma de inclusões no Cpx (Figura 89), é incolor, apresenta birrefringência elevada, relevo alto e extinção reta e hábito subédrico a anédrico.

Figura 89: Inclusões de humita nos cristais de Cpx, apresentando birrefringência alta, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).



6.5 *Gnaiss Migmatítico*

Os gnaisses migmatíticos apresentam coloração acinzentada, com porções mais claras e porções mais escuras, onde as porções mais escuras são mais enriquecidas em minerais ferro-magnesianos, textura variando de lepidoblástica a granoblástica.

Sua assembleia mineralógica é composta por plagioclásio (34%), quartzo (30%), K-feldspato (10%), biotita (22%), como mineral secundário muscovita (3%) e como mineral acessório zircão (1%).

Os cristais de biotita apresentam hábito subeudral a eudral, clivagem perfeita em uma direção (Figura 90) e coloração amarela a marrom claro. Os cristais encontram-se orientados formando uma textura lepidoblástica. Em algumas porções observou-se que os cristais de biotita estão alterando para muscovita (Figura 91).

Figura 90: Cristais de biotita com hábito subeudral e clivagem perfeita em uma direção, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).

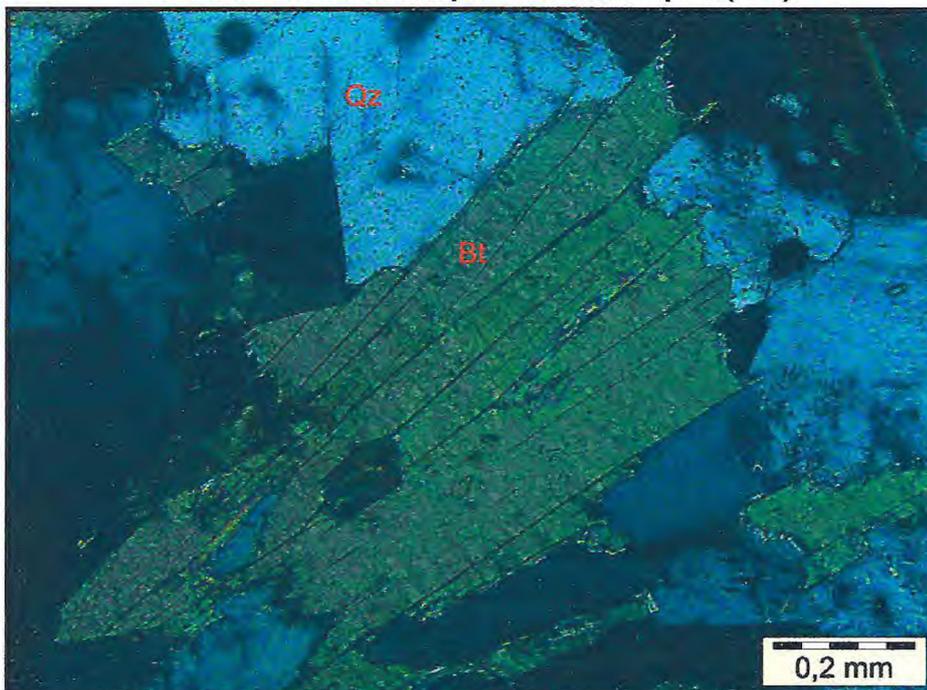
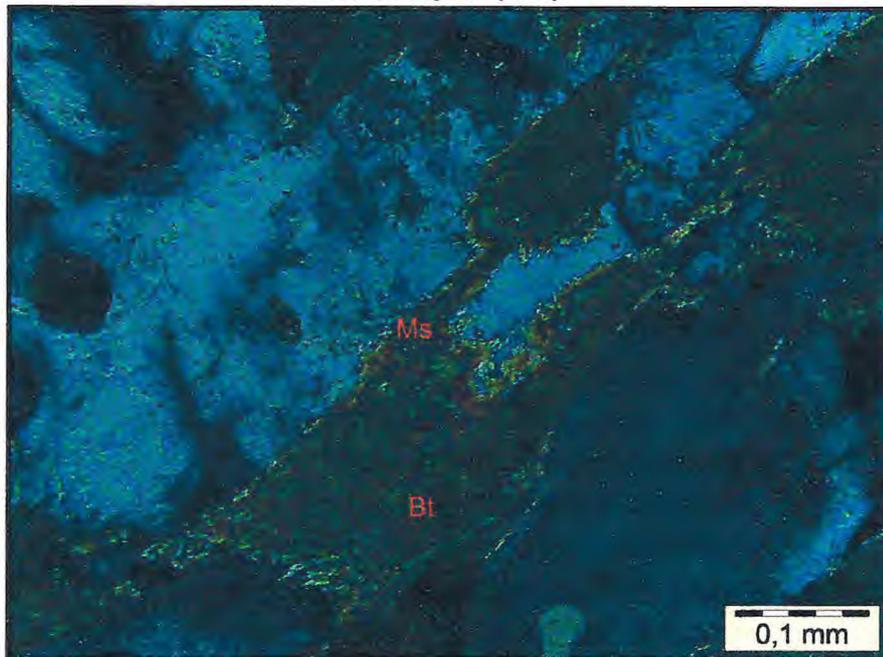
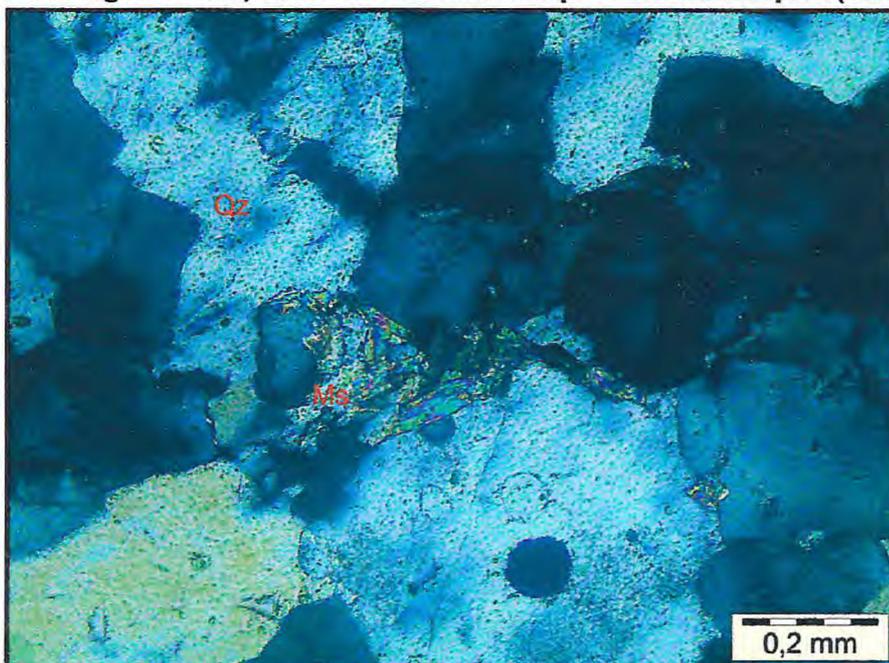


Figura 91: Cristais de biotita alterando para muscovita, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).



Os cristais de muscovita são incoloros, apresentam hábito lamelar variando de subeudral a anedral, birrefringência alta e relevo baixo (Figura 92). São resultado da alteração da biotita sendo, portanto classificada como mineral secundário.

Figura 92: Cristais de muscovita apresentando hábito lamelar, relevo baixo e birrefringência alta, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



Os cristais de quartzo apresentam extinção ondulante, hábito subeudral a anedral, formando uma textura granoblástica. Por vezes foram observadas inclusões de quartzo na biotita (Figuras 93 e 94).

Figura 93: Inclusões de quartzo nos cristais de biotita, observadas no microscópio à luz natural polarizada (10X).

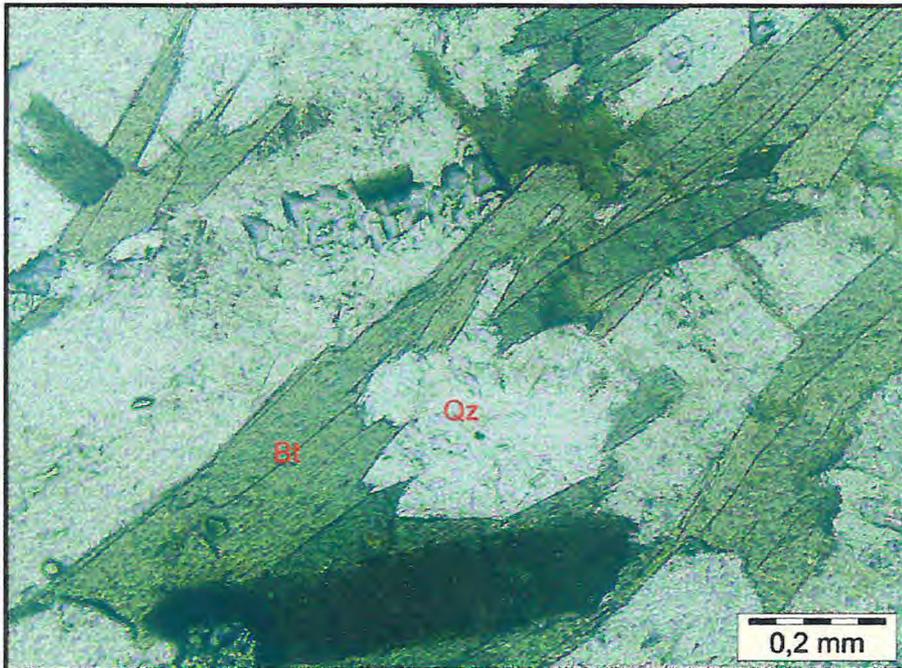
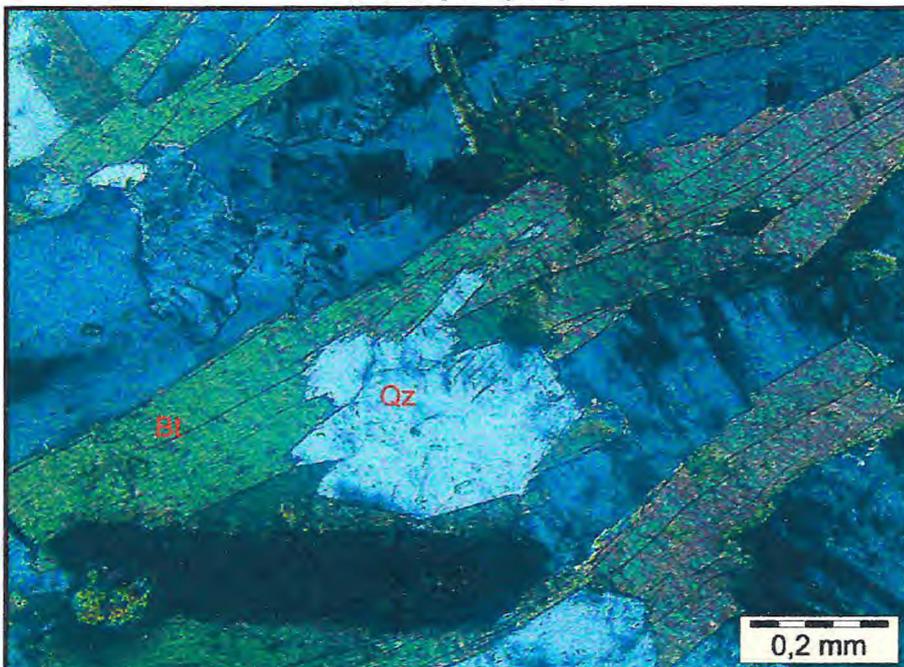


Figura 94: Inclusões de quartzo nos cristais de biotita, observadas no microscópio à luz ortoscópica (10X).



Os cristais de zircão são incolor, apresentam hábito prismático, relevo muito alto e birrefringência muito alta (Figuras 95 e 96). Foram observados geralmente associados aos cristais de biotita.

Figura 95: Cristal de zircão apresentando hábito prismático e relevo muito alto, observado no microscópio à luz natural polarizada (20X).

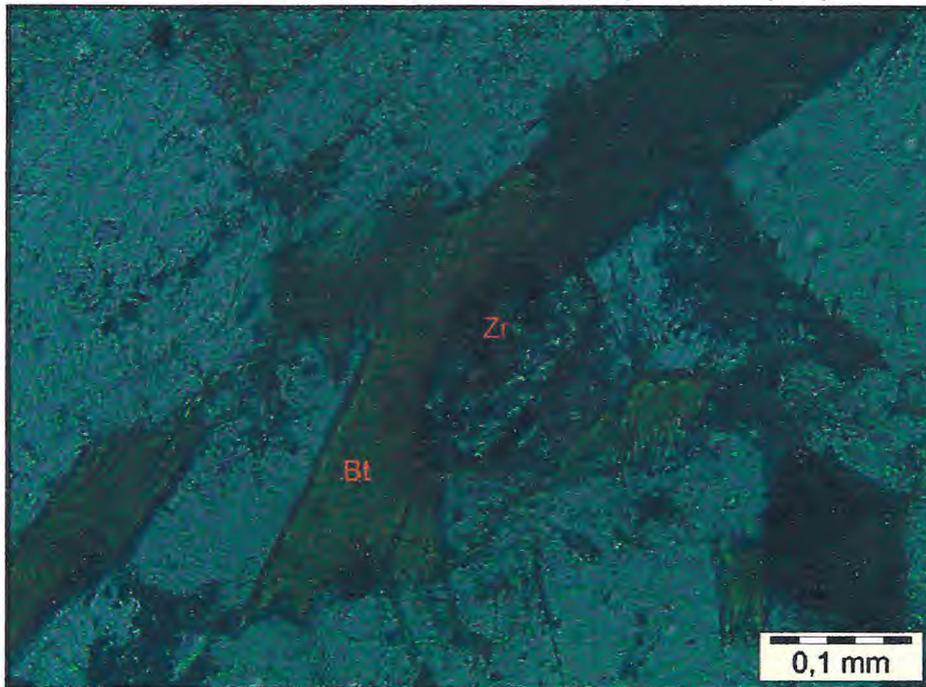
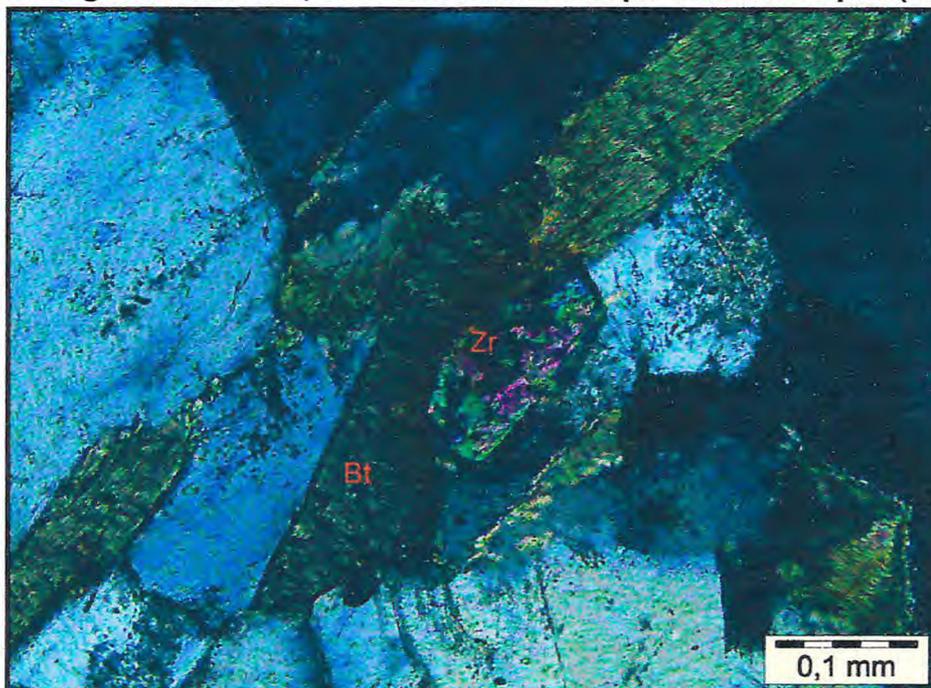


Figura 96: Cristal de zircão apresentando hábito prismático, relevo muito alto e birrefringência muito alta, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).



6.6 Granitóide

6.6.1 Introdução

A partir das observações em campo e análises petrográficas foi distinguidos três tipos graníticos, os biotita-granodioritos, os leucogranitos e os hornblenda-granitos.

6.6.2 Biotita-Granodiorito

Esse tipo granítico apresenta coloração cinza, é geralmente isotrópico, por vezes os minerais ferromagnesianos encontram-se orientados e mais concentrados em algumas porções. Microscopicamente é composto essencialmente por biotita, plagioclásio, quartzo, k-feldspato, minerais secundários como muscovita e clorita e minerais acessórios como opacos, titanita e apatita.

A assembleia mineral é composta essencialmente por cristais de quartzo (25%), plagioclásio (35%), K-feldspato (15%), biotita (20%), tremolita (2%), minerais secundários e minerais acessórios (3%).

A bitotita (Figura 97) apresenta pleocroísmo marrom claro a marrom escuro, cristais anédricos a subédricos, onde alguns cristais encontram-se alterados para muscovita e com alguns opacos associados (Figura 98).

A clorita apresenta coloração verde claro e é, provavelmente, produto de alteração da biotita.

Figura 97: Lamelas de biotita e cristais de apatita no biotita-granodiorito, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).

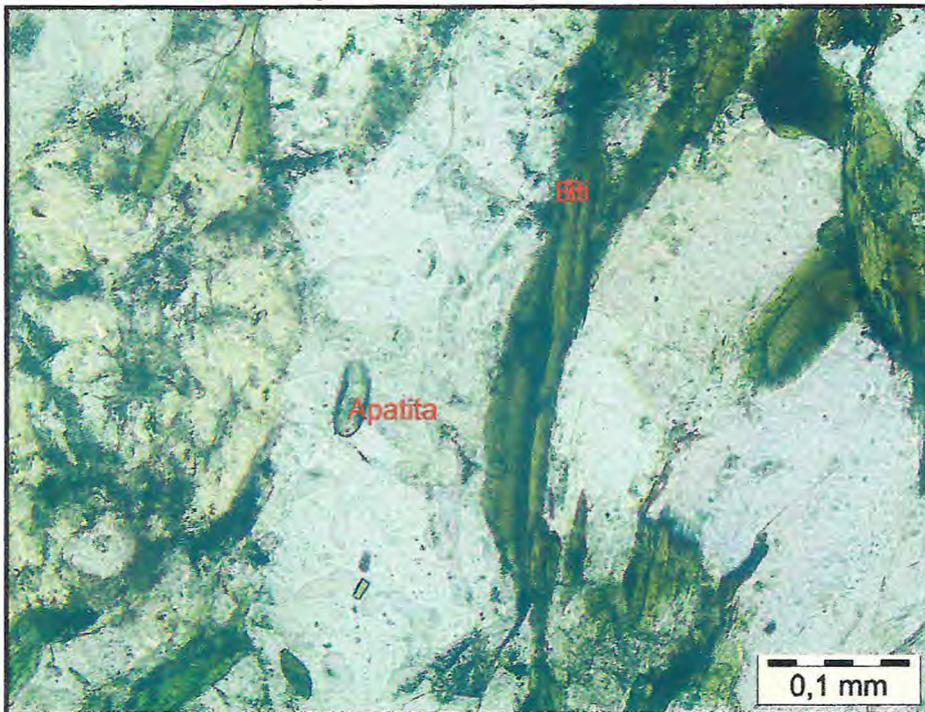
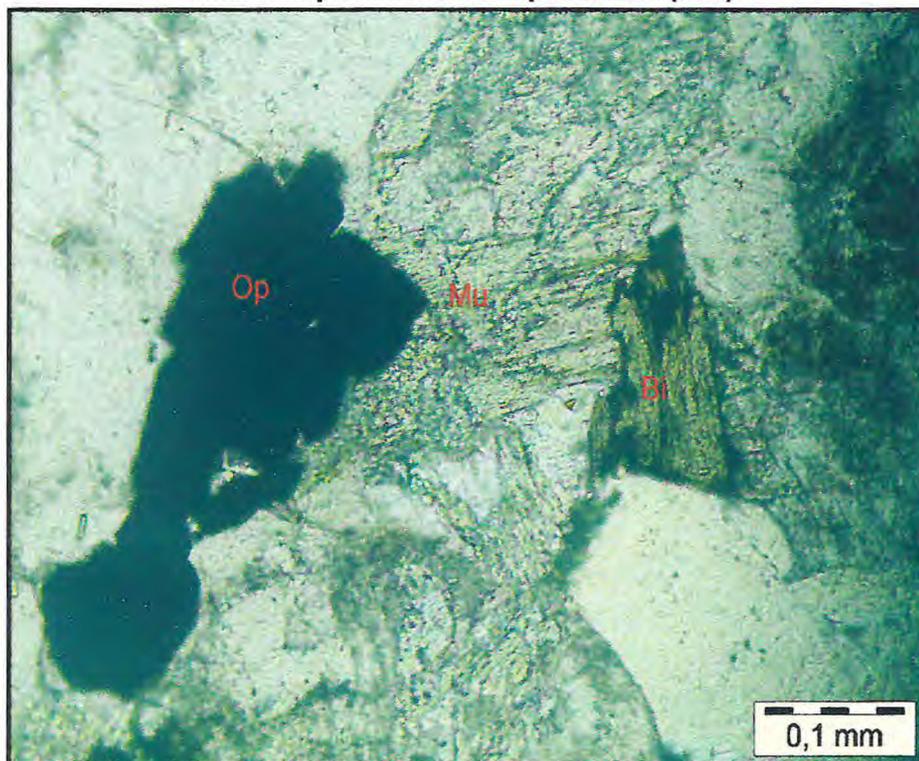


Figura 98: Cristal de biotita alterada associada à cristais de opacos, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).



A muscovita ocorre na forma de lamelas (figuras 99 e 100), possui coloração amarelo claro a incolor com clivagem perfeita e é provavelmente produto de alteração dos feldspatos.

Figura 99: Lamelas de muscovita apresentando clivagem perfeita, associada à biotita, observada no microscópio à luz natural polarizada (20X).

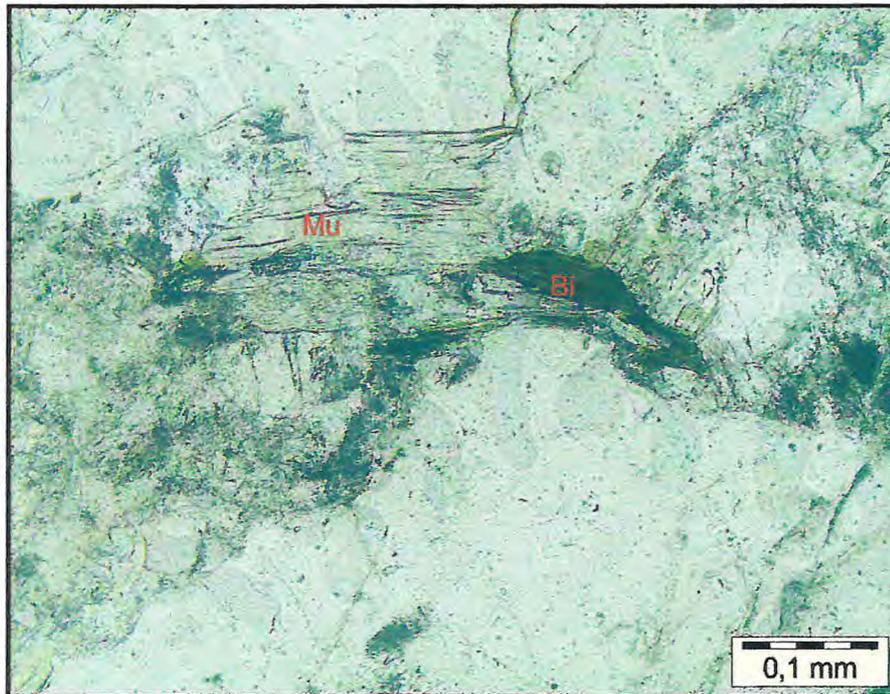
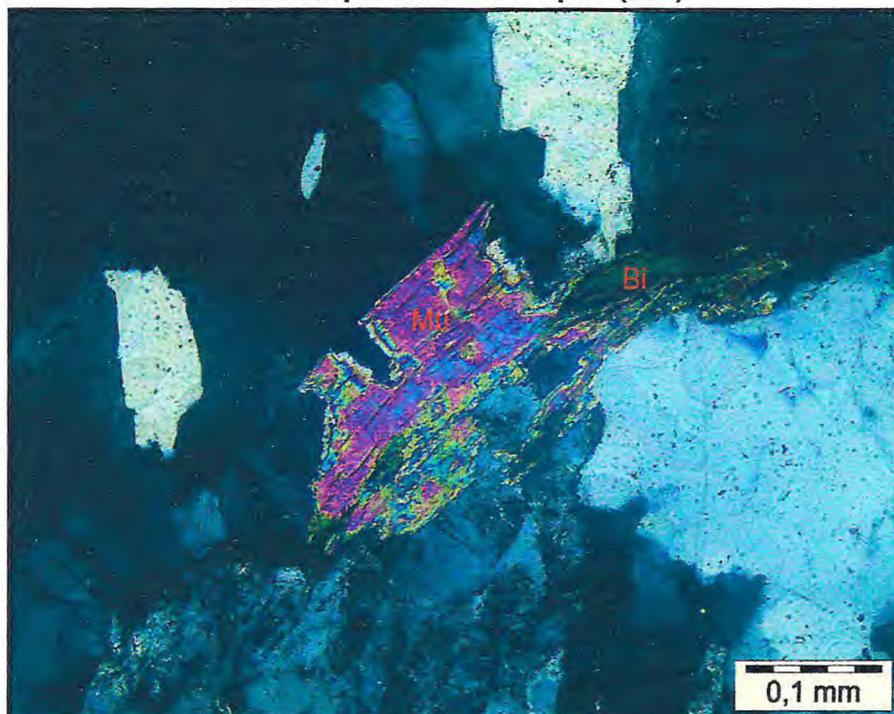
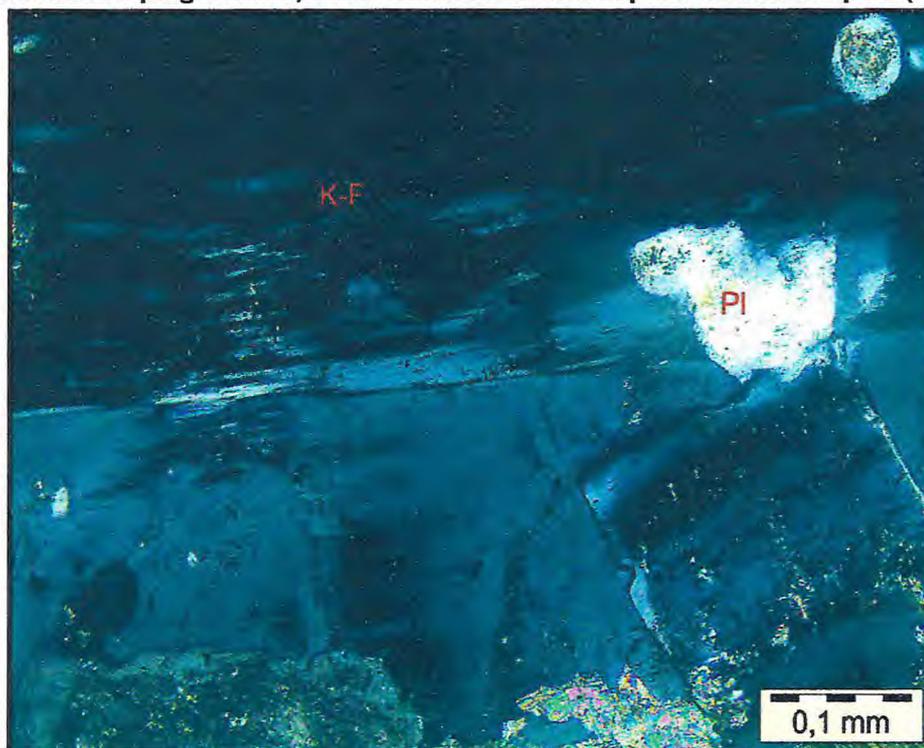


Figura 100: Lamelas de muscovita apresentando birrefringência alta, observada no microscópio à luz ortoscópica (20X).



O k-feldspato é incolor e geralmente apresenta um início de microclinização, além de inclusões de plagioclásio (Figura 101).

Figura 101: Cristais de K-feldspato apresentando início de microclinização, além de inclusões de plagioclásio, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).



6.6.3 Granito Leucocrático

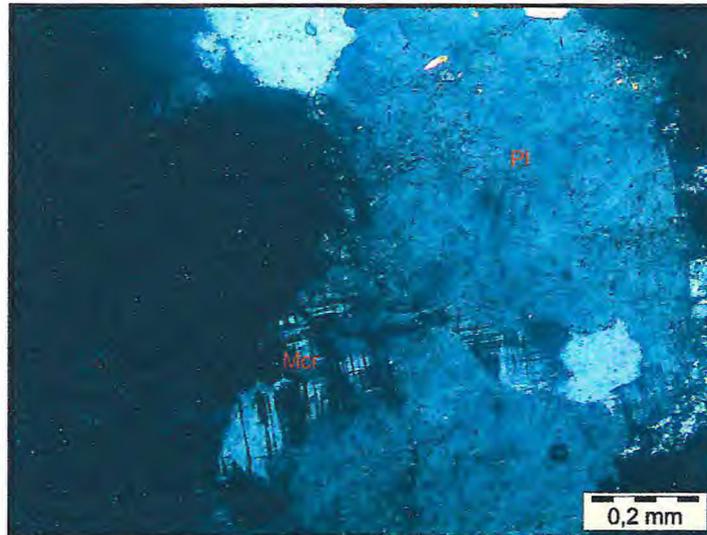
Microscopicamente, esse granito é composto essencialmente por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, titanita como mineral acessório e mica branca como mineral secundário. Apresenta textura porfiroblástica com pórfiros de plagioclásio.

A assembleia mineral é composta essencialmente por cristais de quartzo (35%), plagioclásio (42%), K-feldspato (15%), minerais secundários (2%) e minerais acessórios (6%).

Os cristais de plagioclásio são recristalizados, sendo produto de fusão crustal. Apresentam-se geminados ou não, são incolores, com cristais subédricos

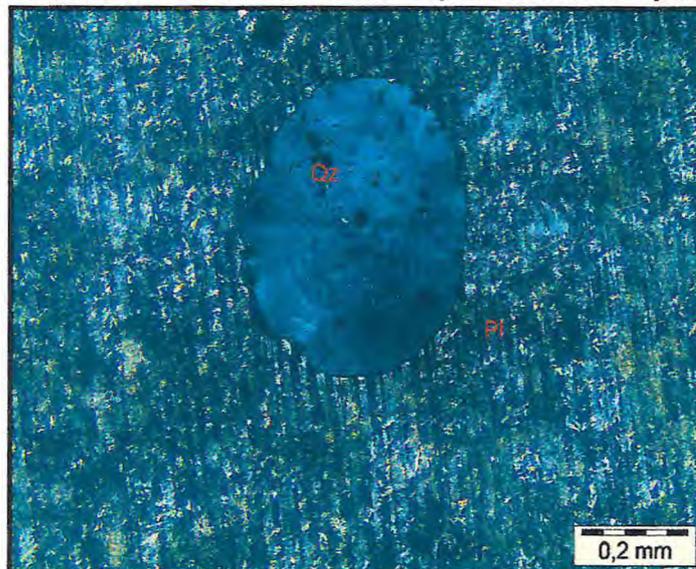
a anédricos. Por vezes encontram-se alterando para mica branca. Foram observadas algumas microinclusões de opacos, provavelmente de hidróxido de ferro. Em algumas porções verificou-se geminação do tipo polissintética. A microclina observada na rocha é tardia e encontra-se associada ao plagioclásio (Figura 102).

Figura 102: Microclina tardia associada ao plagioclásio, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



O quartzo observado pode ser intersticial ou arredondado na forma de inclusões no plagioclásio (Figura 103). Por vezes encontra-se microfaturado e preenchido por hidróxido de ferro.

Figura 103: Inclusão de quartzo arredondado no cristal de plagioclásio com geminação polissintética, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).



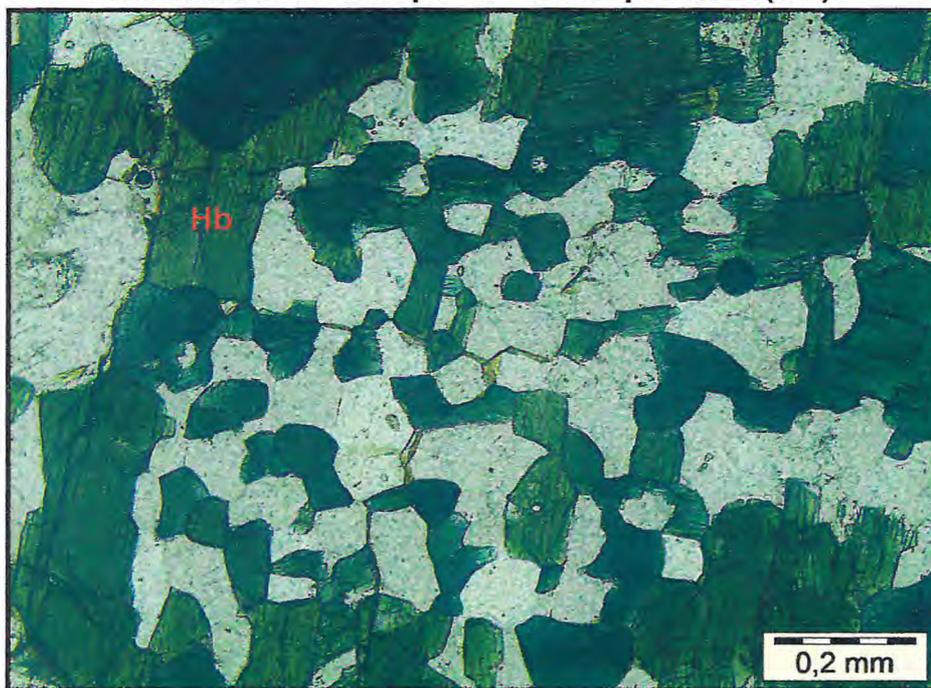
6.6.4 Hornblenda–Granito

O hornblenda-granito é um granito isotrópico, de coloração branca, com fenocristais de anfibólio parcialmente recristalizados. Este litotipo apresenta textura granular poligonal e é composto essencialmente por plagioclásio, anfibólio, quartzo e k-feldspato e como mineral acessório apatita.

A assembleia mineral é composta essencialmente por cristais de quartzo (25%), plagioclásio (30%), K-feldspato (20%), anfibólio (20%) e apatita (5%).

Os fenocristais de anfibólio podem ser magmáticos ou recristalizados, devido a uma deformação eles foram estirados e parcialmente recristalizados, apresentando recristalização poligonal (Figura 104). Possuem coloração verde claro a verde escuro. Os anfibólios recristalizados são poligonais euédricos a subédricos e os cristais magmáticos são subédricos a anédricos.

Figura 104: Porfiroblastos de hornblenda apresentando recristalização poligonal, observada no microscópio à luz natural polarizada (10X).



Alguns cristais de feldspato têm feições micropertíticas típicas de feldspato de alta temperatura e contêm inclusões de plagioclásio.

6.7 Skarn

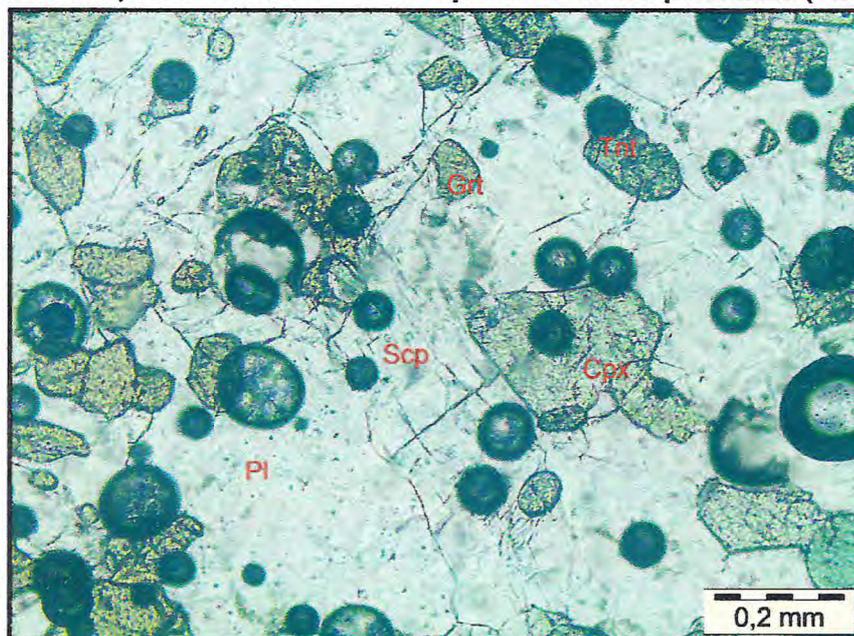
Os *skarns* observados na área de estudo foram aqui subdivididos em *endoskarns* e *exoskarns*, de acordo com seu protólito. Os *endoskarns* resultam da substituição de rochas de origem magmática e os *exoskarns* resultam da substituição de rochas de origem sedimentar.

6.7.1 Exoskarns

Os *Exoskarns* apresentam coloração averdeada, são maciços, possuem granulação grossa e são predominantemente cálcicos. Em seção delgada os *exoskarns* cálcicos apresentam textura granoblástica a porfiroblástica.

A assembléia mineral é composta predominantemente de clinopiroxênio (40%), sendo esses identificados como diopsídio e hendebergita, granada (17%), plagioclásio (10%), carbonatos (7%), escapolita (15%) e humita (6%) e como minerais acessórios (5%) tem-se a apatita, titanita, tremolita (Figura 105).

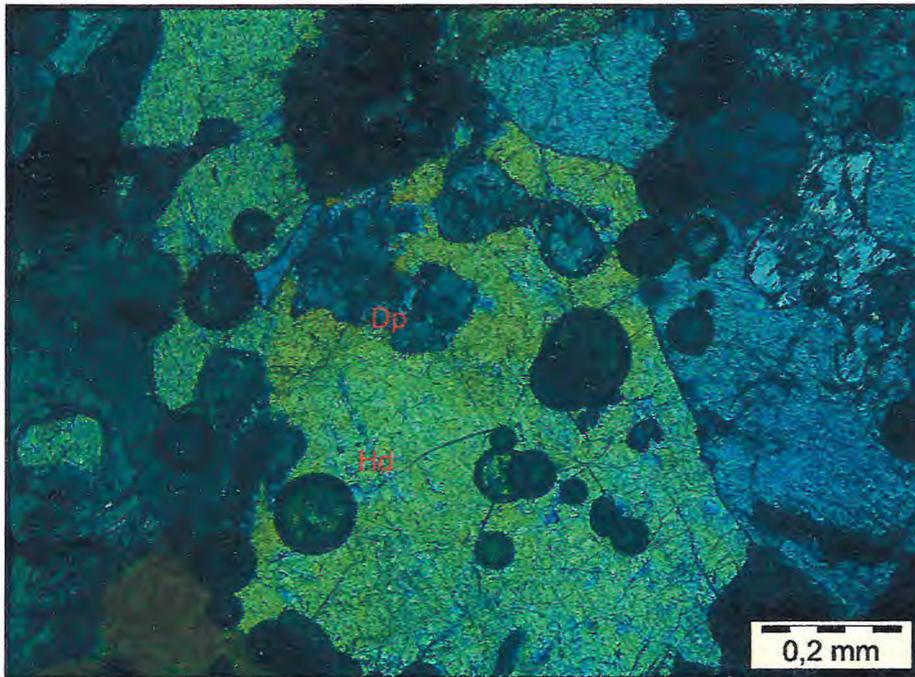
Figura 105: Cristais de granada, escapolita, clinopiroxênio, plagioclásio e titanita no exoskarn, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).



Os cristais de diopsídio apresentam pleocroísmo variando de marrom a verde claro, relevo moderado, de hábito subédricos a anédricos, por vezes

encontram-se alterando para carbonatos. Observou-se em algumas porções cristais de diopsídio inclusos na hendebergita (Figura 106).

Figura 106: Cristais de diopsídio inclusos na hendebergita, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).



A hendebergita apresenta pleocroísmo com coloração variando de amarelo a verde escuro, relevo moderado, cristais subédricos a anédricos (resultado da recristalização poligonal), grau de birrefringência elevado, por vezes sofre alteração para carbonatos.

A granada observada nos *skarns* (Figuras 107 e 108) da área de estudo possuem coloração marrom claro a amarelo, relevo alto, grãos euédricos a subédricos e por vezes são intersticiais.

Figura 107: Cristais de granada e clinopiroxênio apresentando recristalização poligonal, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).

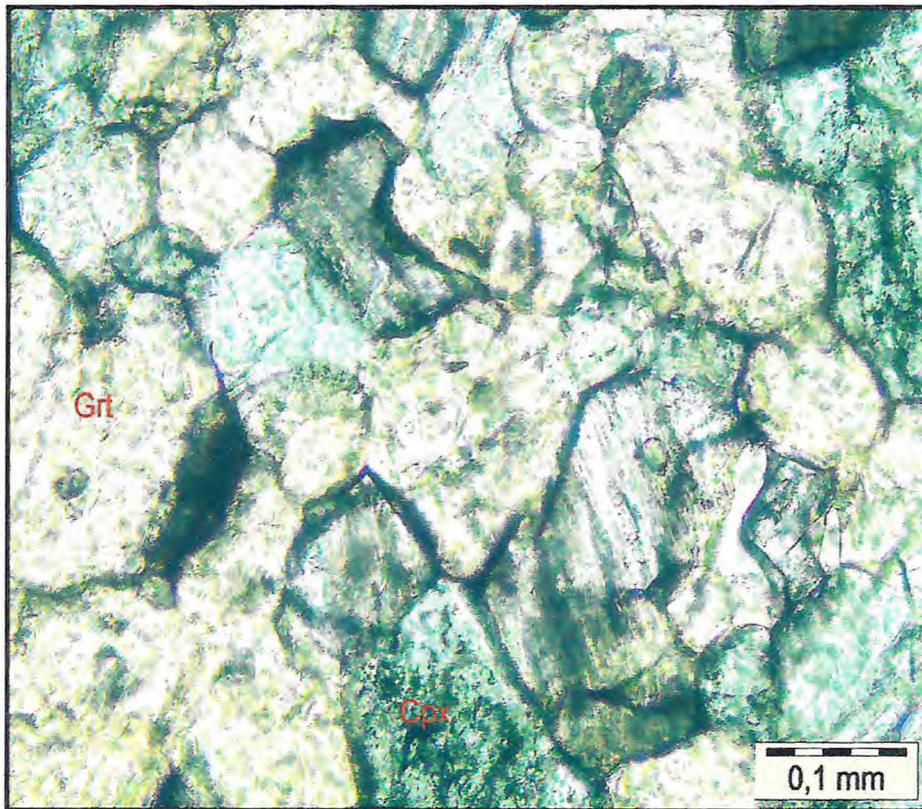
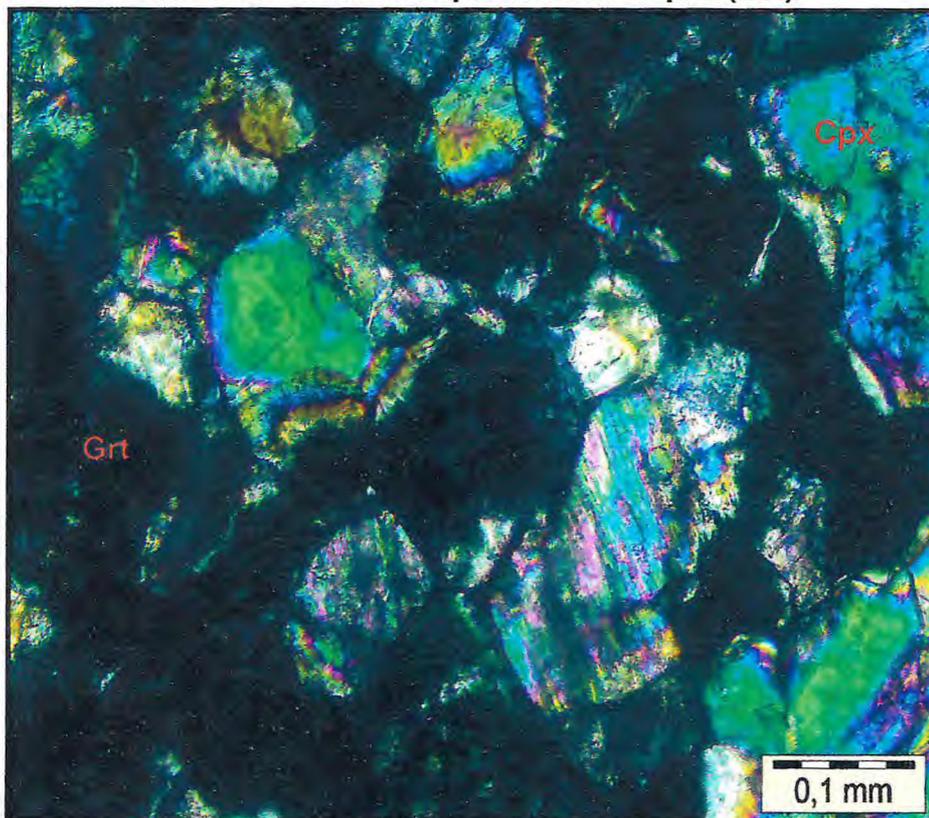


Figura 108: Cristais de granada e clinopiroxênio apresentando recristalização poligonal, observado no microscópio à luz ortoscópica (20X).



O plagioclásio é incolor, apresenta geralmente geminação polissintética, grãos subédricos a anédricos.

Foram observados no exoskarn cristais de humita apresentando coloração cinza a marrom claro relevo alto e pleocroísmo (Figuras 109 e 110).

Figura 109: Exoskarn com presença de humita, carbonato e granada, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).

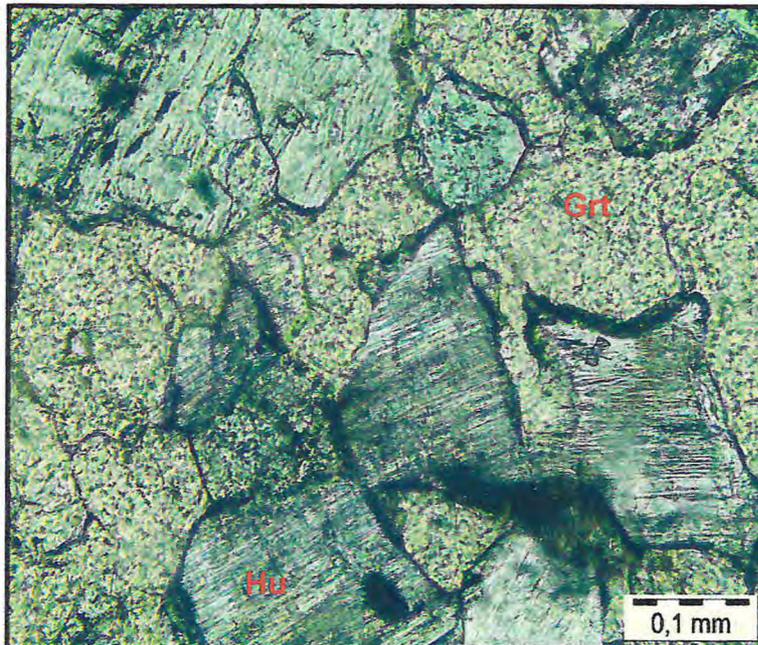
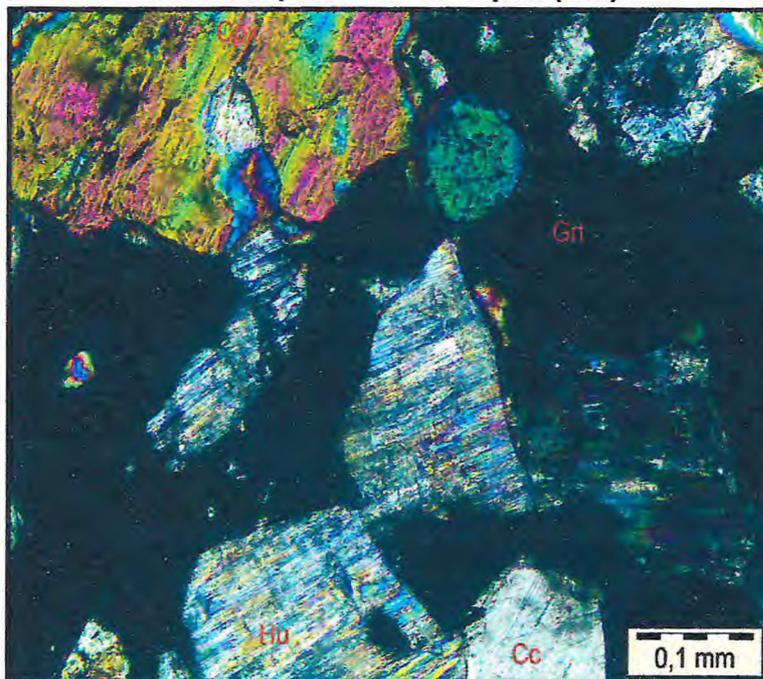


Figura 110: Exoskarn com presença de humita, carbonato e granada, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).



A titanita possui coloração marrom, relevo alto, forma losangular e encontra-se frequentemente associada ao Cpx e à granada.

A escapolita (Figuras 111 e 112) apresenta um alto grau de birrefringência, é incolor e apresenta-se em grande porcentagem na rocha.

Figura 111: Exoskarn com granada, escapolita e Cpx, observados no microscópio à luz natural polarizada (20X).

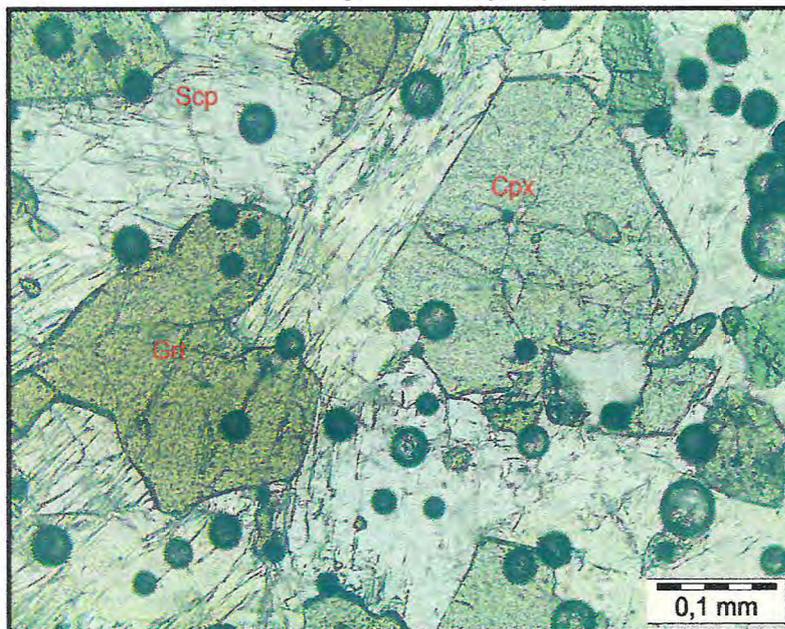
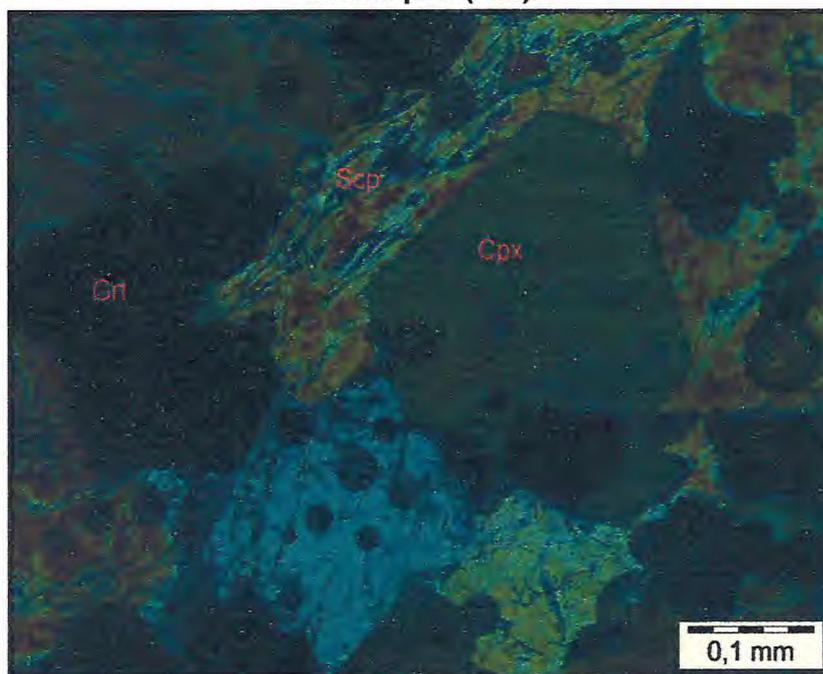


Figura 112: Exoskarn com granada, escapolita e Cpx, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).



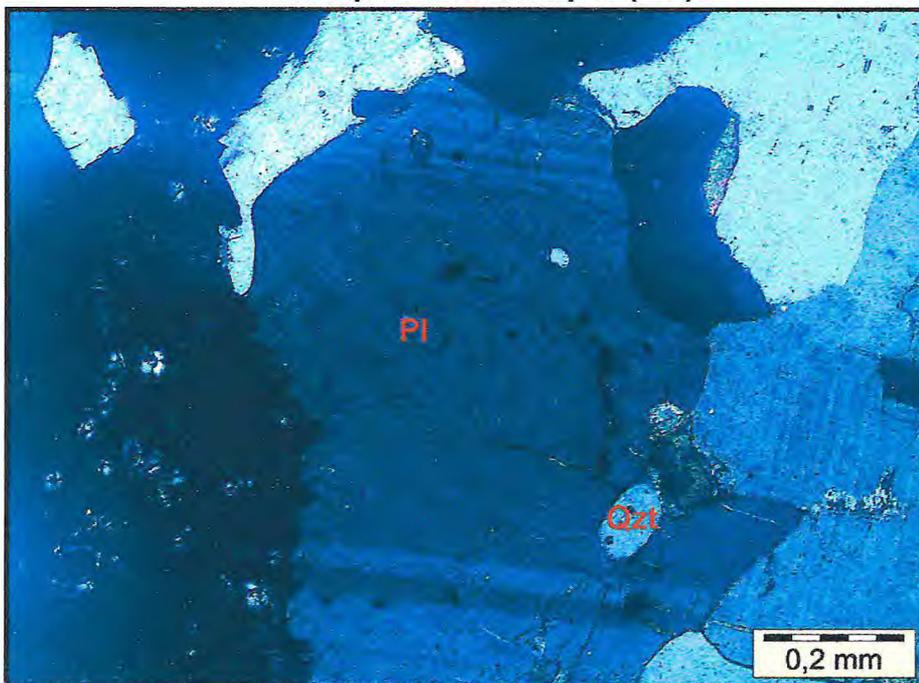
6.7.2 Endoskarns

Os Endoskarns apresentam coloração branca a verde claro, textura granular poligonal e possuem granulação grossa. Provavelmente se trata de um endoskarn formado a partir de um granito leucocrático.

A assembleia mineral é composta predominantemente por cristais de quartzo (20%), plagioclásio (25%), Clinopiroxênio (13%), K-feldspato (35%), titanita (5%), apatita (1%) e zoisita (1%).

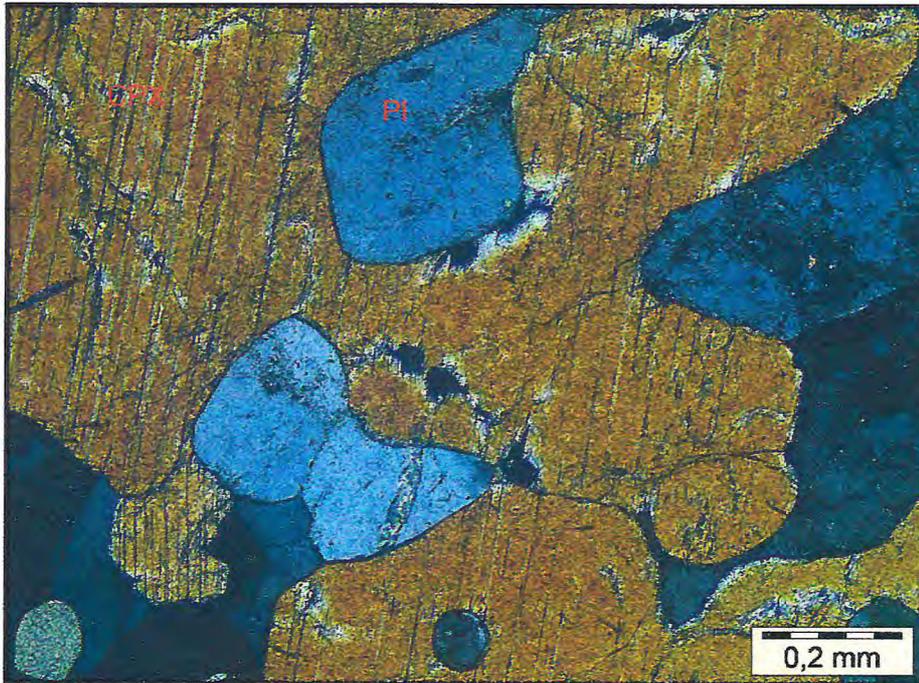
Os cristais de quartzo apresentam-se incolores, com extinção ondulante e relevo muito baixo. Em algumas porções foi possível observar inclusões de quartzo subarredondados no plagioclásio (Figura 113).

Figura 113: Cristal de quartzo subarredondado incluído no plagioclásio, observado no microscópio à luz ortoscópica (10X).



Os cristais de plagioclásio apresentam forma eudral a subeudral, por vezes a geminação é do tipo polissintética albita ou do tipo Carlsbad. Notou-se em algumas porções, cristais subarredondados de plagioclásio como inclusões no clinopiroxênio (Figura 114), feição esta típica de metamorfismo.

Figura 114: Cristais de plagioclásio subarredondados como inclusões no clinopiroxênio, observados no microscópio à luz ortoscópica (10X).



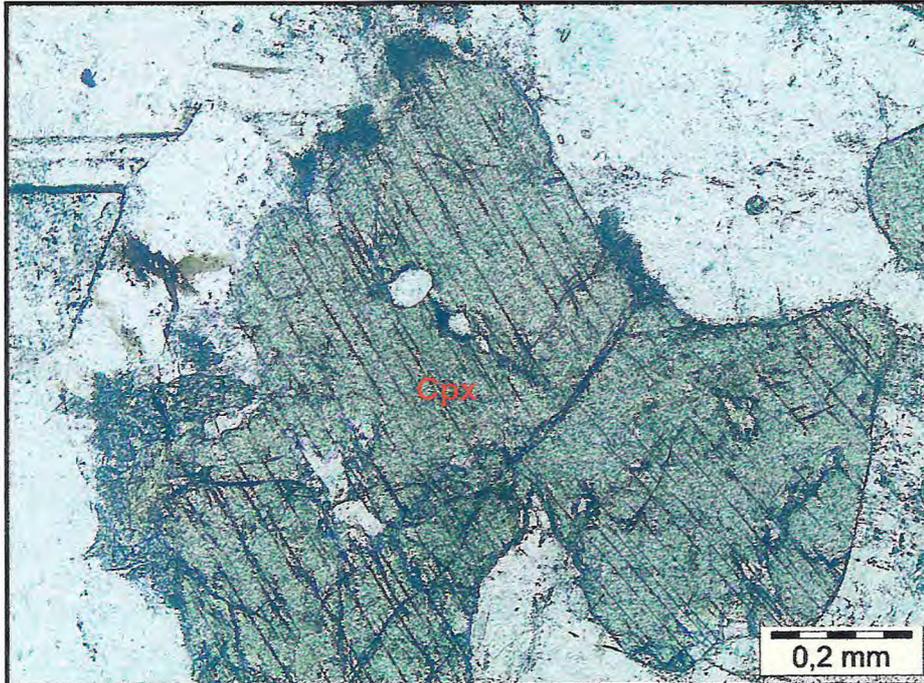
Os cristais de K-feldspato apresentam, por vezes, geminação do tipo microclima (Figura 115).

Figura 115: Geminação do tipo microclima no K-feldspato, observada no microscópio à luz ortoscópica (10X).



Os cristais de clinopiroxênio (Figura 116) apresentam coloração esverdeada, bastante fraturado, clivagem perfeita, relevo alto e pleocroísmo.

Figura 116: Cristais de clinopiroxênio apresentando coloração esverdeada, clivagem perfeita, e relevo alto, observados no microscópio à luz natural polarizada (10X).



Os cristais de titanita apresentam coloração marrom, hábito eudral, forma lenticular, relevo alto, birrefringência alta e são idiomórficos (Figura 117). Alguns cristais encontram-se fraturados. Alguns cristais de titanita ocorrem como inclusões no plagioclásio (Figura 117) e no clinopiroxênio (Figura 118).

Figura 117: Inclusões de cristais de titanita idiomórficos no palgioclásio, observadas no microscópio à luz ortoscópica (10X).

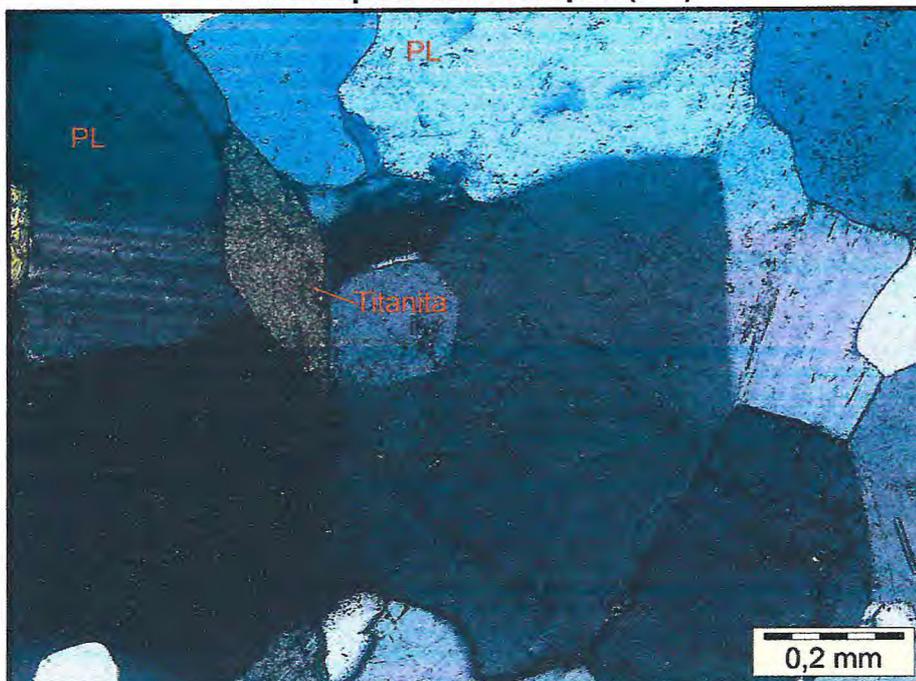
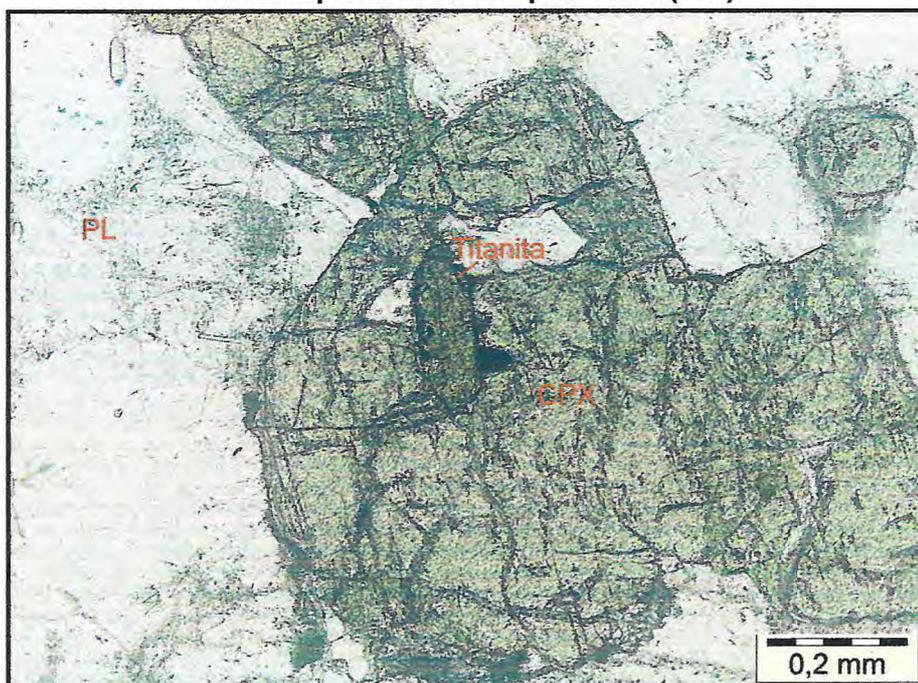


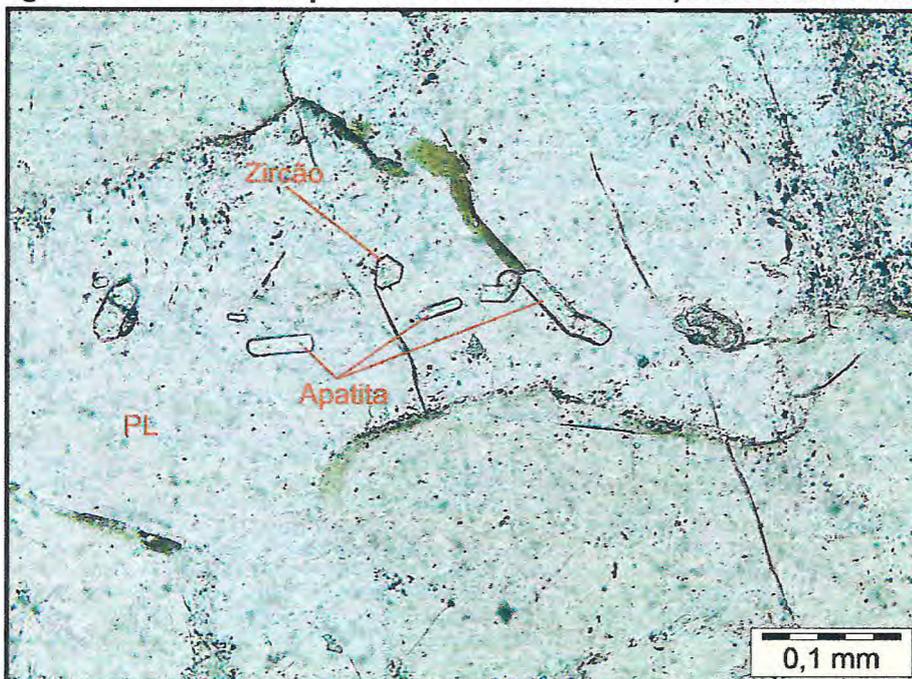
Figura 118: Inclusões de cristais de titanita no clinopiroxênio, observadas no microscópio à luz natural polarizada (10X).



A apatita (Figura 119) foi classificada como mineral acessório e apresenta coloração verde claro a incolor, relevo moderado e birrefringência baixa.

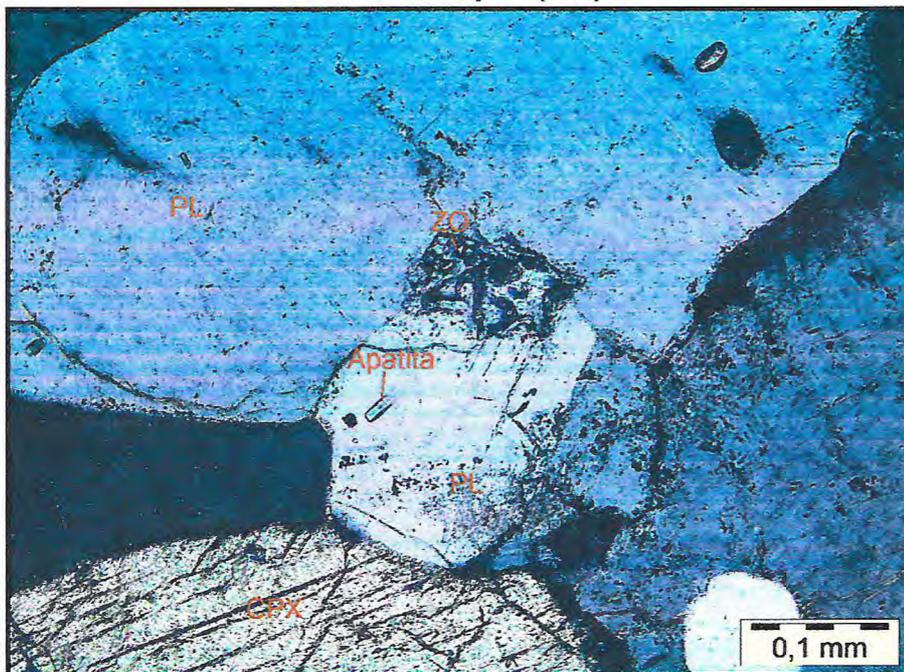
O zircão (Figura 119) também foi classificada como mineral acessório, é incolor, apresenta relevo muito alto, hábito prismático, birrefringência muito alta, e extinção paralela.

Figura 119: Cristais de apatita e zircão no endoskarn, classificados como



Foram observados no endoskarn, cristais de zoisita inclusos no plagioclásio (Figura 120), que também foram classificados como mineral acessório. A zoisita apresenta coloração verde azulada a incolor, relevo alto, birrefringência alta e se apresenta na forma de agregados granulares.

Figura 120: Cristais de zoisita na forma de agregados granulares inclusos no plagioclásio, apresentando relevo alto e birrefringência alta, observados no microscópio à luz ortoscópica (20X).



6.8 Conclusões

A partir da petrografia foi possível chegar à conclusão de que as rochas foram submetidas a eventos metamórficos/deformacionais distintos, onde diferentes feições dúcteis e rúpteis foram originadas e puderam ser observadas no microscópio óptico.

As análises microscópicas foram fundamentais para a identificação das assembléias minerais dos litotipos presentes, bem como de suas feições estruturais e do grau metamórfico a que essas rochas foram submetidas.

A transformação da hornblenda em actinolita, a saussuritização do plagioclásio com formação de epídoto e carbonato, a associação de epídoto + actinolita (hidrotermalismo) e a formação de titanita a partir da ex-solução de biotita são algumas reações que mostram a desestabilização de minerais estáveis no fácies anfibolito e cristalização mais forte de actinolita, epídoto e clorita os quais são estáveis em ambientes de condições metamórficas de menor grau, mais especificamente no fácies xisto-verde, indicando que as rochas da área pesquisada sofreram um retrometamorfismo.

7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV

7.1 *Introdução*

Com o objetivo de obter uma melhor classificação das fases de minerais que não foram seguramente identificados na petrografia, foram realizadas análises semi-quantitativas em Microscópio de Varredura Eletrônica – MEV, visando contribuir para melhoria da petrografia, petrologia e metalogenia das rochas da região.

As análises em MEV foram efetuadas em amostras de mármore e minérios de ferro e manganês, com ênfase nos minerais de interesse econômico e indicadores das condições de metamorfismo/metalogenéticas. Realizaram-se as análises em seções delgadas e metalizadas em filme de carbono. As amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, com micro-análise pontual por dispersão de energia (EDS), no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia–DGEO, Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará.

Foram realizadas análises pontuais, a que denominamos de alvos, e de varreduras, que são mais abrangentes.

Em algumas amostras com ausência de carbonatos, foram desprezadas as porcentagens de CO₂ e recalculados os demais elementos totalizando 100%, pois a câmara do MEV é a vácuo com Carbono, portanto o nível do mesmo não é confiável.

Foram analisadas amostras de mármore (DD–09.B), minério de ferro (RGJ-67.C), (RGJ-70) e (DD-23), minério de manganês (DD-14.A), tendo sido realizadas várias análises em diferentes alvos.

7.2 Resultado das Análises Químicas Mineraias – (MEV)

7.2.1 Ferro

As análises realizadas no minério de ferro, amostra RGJ-67.C consistiram em quatro alvos, onde diversas leituras foram efetuadas. Foi definido um perfil analítico para obtenção dos dados de variação dos elementos, conforme a zonação apresentada por alguns cristais. Os resultados analíticos semi-quantitativos podem ser observados nas tabelas abaixo (tabelas 2, 3, 4 e 5).

Tabela 2: Resultado para o alvo 1.

Elemento	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	17.568	1.391	26.282	64.370	CO ₂
Silicon	3.924	0.278	2.511	8.395	SiO ₂
Iron	21.170	1.049	6.811	27.235	FeO
Oxygen	57.338	1.570	64.396		

Tabela 3: Resultado para o alvo 2.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	16.771	1.465	22.839	61.451	CO ₂
Silicon	18.020	0.684	10.494	38.549	SiO ₂
Oxygen	65.209	1.479	66.667		

Tabela 4: Resultado para o alvo 3.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Silicon	10.087	0.697	14.864	21.580	SiO ₂
Chlorine	8.241	0.918	9.620	0.000	
Iron	16.052	1.331	11.895	20.650	FeO
Bismuth	44.427	2.284	8.798	49.529	Bi ₂ O ₃
Oxygen	21.193	1.511	54.822		

Tabela 5: Resultado para o alvo 4.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	13.427	1.419	23.402	49.197	CO ₂
Silicon	2.603	0.180	1.940	5.569	SiO ₂
Chlorine	0.357	0.095	0.211	0.000	
Iron	3.788	0.363	1.420	4.873	FeO
Copper	22.764	1.203	7.500	28.496	CuO
Zinc	9.245	0.957	2.961	11.508	ZnO
Oxygen	47.815	1.768	62.566		

A partir dos resultados observou-se que o mineral do Alvo 2 (Figura 121) apresenta composição média (tabela 3) de SiO₂ (100%), sendo portanto classificado como quartzo.

O alvo 1 (Figura 122) é uma massa que envolve o quartzo composta por FeO (76,44%) e SiO₂ (23,56%), sendo que essa variação sugere que a massa intersticial é dominada por silicato de Fe ou óxido de Fe (tabela 2).

No Alvo 3 (Figura 123, Tabela 4) observa-se um cristal composto por Bi₂O₃ (49,53%), SiO₂ (21,58%) e FeO (20,65%), sendo provavelmente, um cristal de bismuto.

No alvo 4, (Figura 124, Tabela 5) observa-se um cristal composto por CuO (56,49%), ZnO (22,81%), SiO₂ (11,04%) e FeO (9,66%).

Figura 121: Alvo 1 representando uma fase enriquecida em Fe.

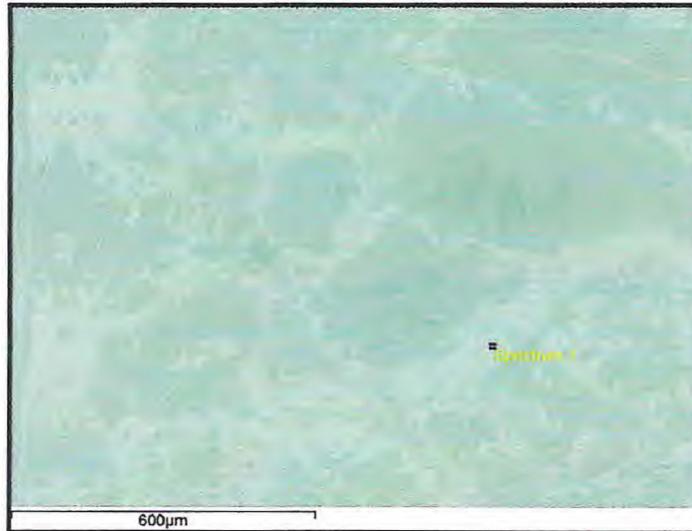


Figura 122: Alvo 2 representando cristais de quartzo.



Figura 123: Alvo 3 representando cristais de bismuto.

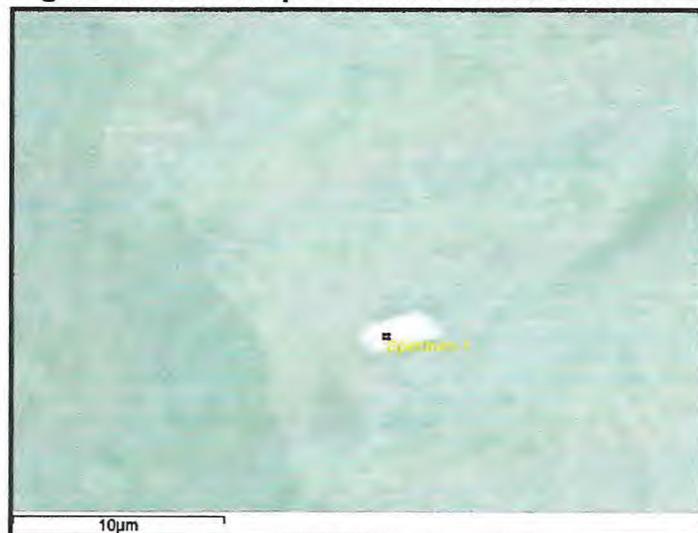


Figura 124: Alvo 4 representando cristais enriquecidos em cobre.



Com a realização de perfis analíticos em quatro alvos da amostra RGJ-67.C foram obtidos gráficos para a observação dos principais elementos (Figuras 125, 126, 127 e 128).

Figura 125: Elementos detectados no alvo 1.

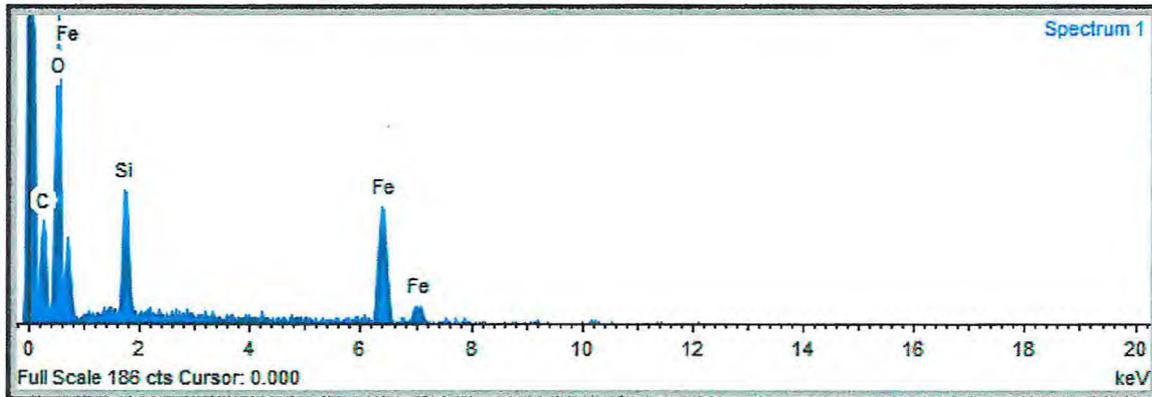


Figura 126: Elementos detectados no alvo 2.

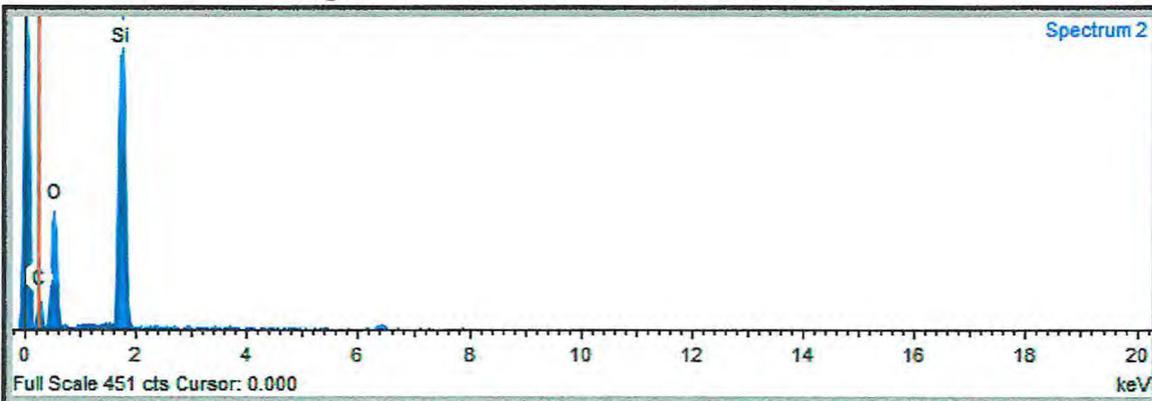


Figura 127: Elementos detectados no alvo 3.

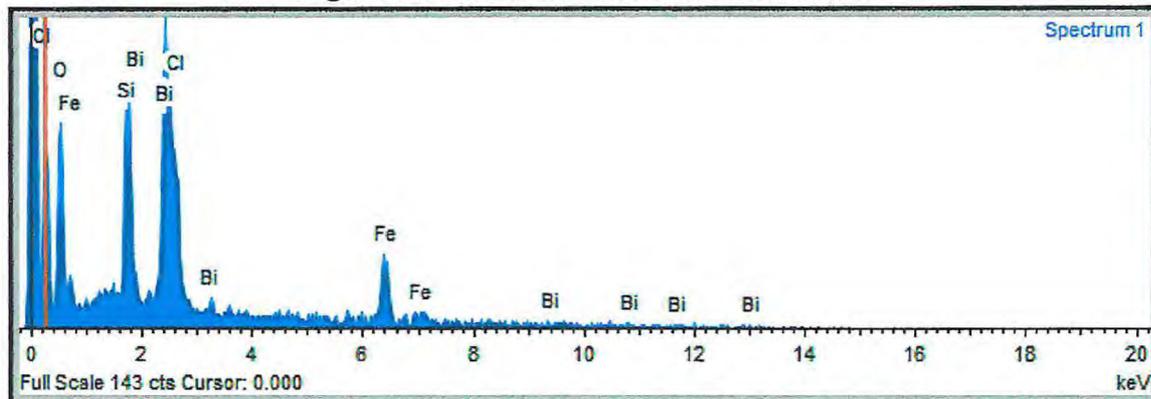
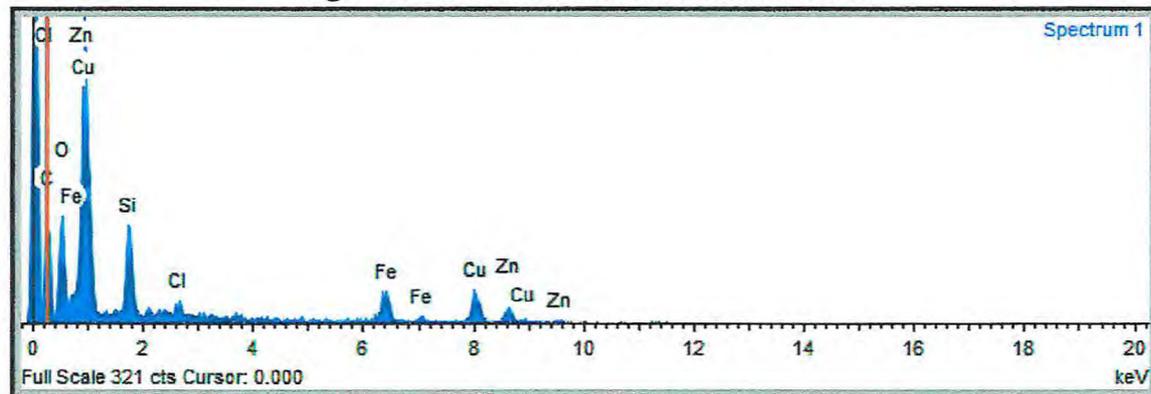


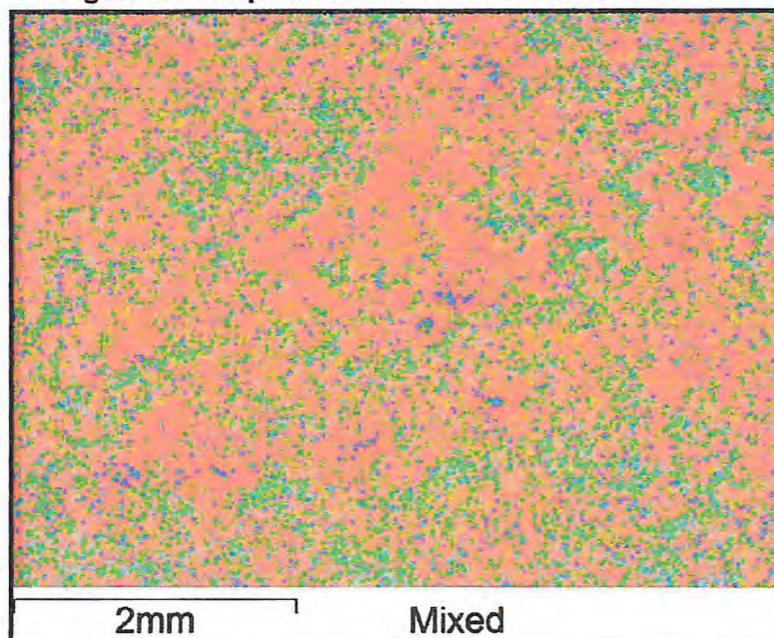
Figura 128: Elementos detectados no alvo 4.



O bismuto (Bi) está normalmente associado a minérios de vários metais como ouro (Au), prata (Ag), cobalto (Co), chumbo (Pb), zinco (Zn) e estanho (Sn), se apresentando como mineral acessório e sendo um elemento farejador de depósitos desses metais.

No mapa de elementos da amostra RGJ-67.C (Figura 129), é possível observar a representação dos principais elementos que compõem a rocha, onde a sílica é representada pela cor vermelha, o ferro é representado pela cor verde e o alumínio é representado pela cor azul.

Figura 129: Mapa de elementos da amostra RGJ-67.C



Para a amostra do minério de ferro RGJ-70 dois alvos foram escolhidos para detalhamento das análises. Os resultados analíticos semi-quantitativos podem ser conferidos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Resultado para o alvo 1.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Silicon	9.330	0.623	10.293	19.960	SiO ₂
Manganese	5.775	0.866	3.257	7.457	MnO
Iron	56.420	1.445	31.303	72.583	FeO
Oxygen	28.475	1.285	55.147		

Tabela 7: Resultado para o alvo 2.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Carbon	19.002	1.067	25.493	69.626	CO ₂
Silicon	12.992	0.401	7.454	27.793	SiO ₂
Iron	2.007	0.293	0.579	2.581	FeO
Oxygen	65.999	1.097	66.474		

A partir dos resultados observou-se que o mineral do Alvo 1 (Figura 130) apresenta composição média (tabela 6) de FeO (72,58%), SiO₂ (19,96%) e MnO (7,46%) sendo portanto classificado como minério de ferro manganesífero.

O alvo 2 (Figura 131) é uma matriz que envolve o ferro e é composta por FeO (8,5%) e SiO₂ (91,5%), sugerindo que a matriz é dominada por sílica (tabela 7).

Figura 130: Alvo 1 representando um cristal de ferro.

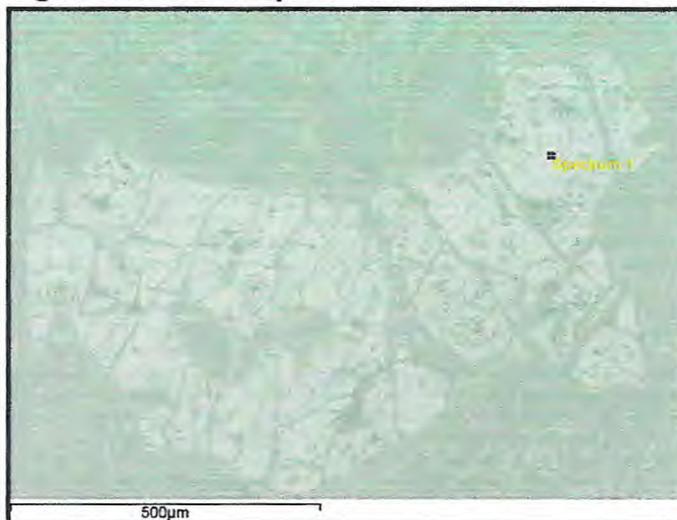
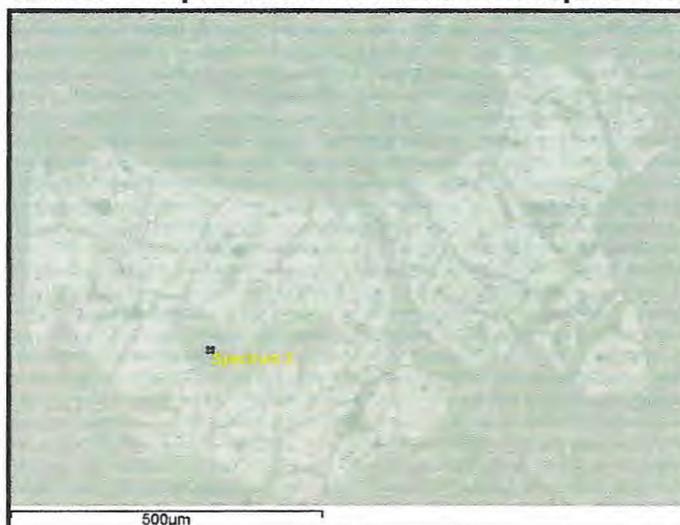


Figura 131: Alvo 2 representando uma massa enriquecida em sílica.



Com a realização de perfis analíticos em dois alvos da amostra RGJ-70, foram obtidos gráficos para a observação dos principais elementos presente na amostra analisada (Figuras 132 e 133).

Figura 132: Elementos detectados no alvo 1.

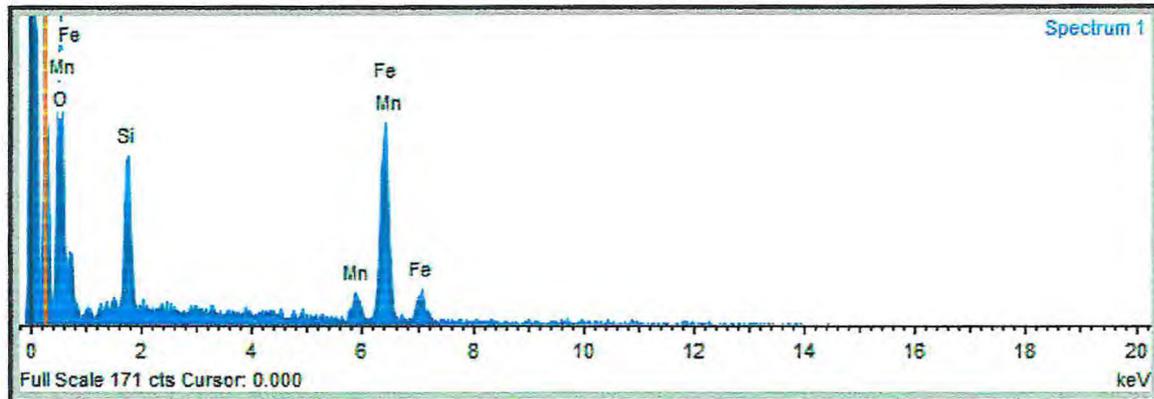
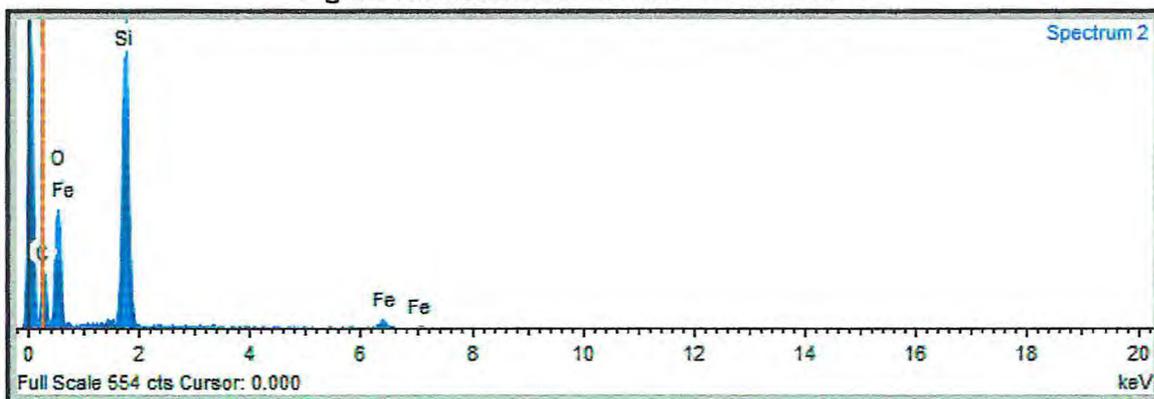
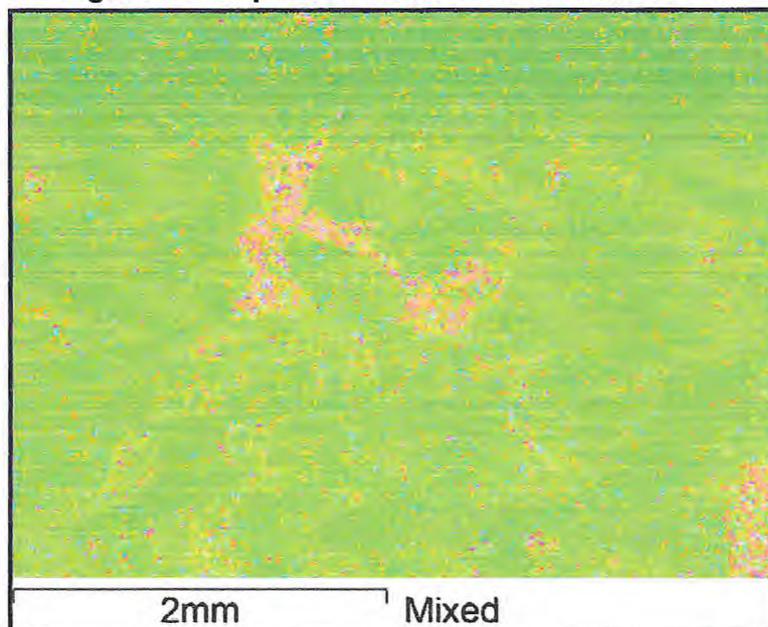


Figura 133: Elementos detectados no alvo 2.



No mapa de elementos da amostra RGJ-70 (Figura 134), é possível observar a representação dos principais elementos que compõem a rocha, onde a sílica é representada pela cor verde, o ferro é representado pela cor vermelha e o alumínio é representado pela cor azul.

Figura 134: Mapa de elementos da amostra RGJ-70.



Para a amostra de gossan DD-23, dois alvos foram escolhidos para detalhamento das análises. Os resultados analíticos semi-quantitativos podem ser conferidos nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Resultado para o alvo 1.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Silicon	3.516	0.224	4.243	7.521	SiO ₂
Iron	71.885	0.697	43.635	92.479	FeO
Oxygen	24.599	0.677	52.122		

Tabela 9: Resultado para o alvo 2.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Compound %	Formula
Silicon	41.698	0.437	31.226	89.203	SiO ₂
Iron	8.393	0.489	3.161	10.797	FeO
Oxygen	49.910	0.466	65.613		

A partir dos resultados observou-se que o mineral do alvo 1 (Figura 135) é uma massa que envolve o quartzo e é composta por FeO (92,48%) e SiO₂

(7,52%), sugerindo que a massa é dominada por Fe (tabela 8), provavelmente um fluido enriquecido em ferro que percolou a rocha.

O alvo 2 (Figura 136) apresenta composição média (tabela 9) de SiO_2 (89,20%) e FeO (10,80%). Essa composição sugere que se trata de um cristal de quartzo.

Figura 135: Alvo 1 representando uma massa enriquecida em ferro.



Figura 136: O alvo 2 representa provavelmente um cristal de quartzo.



Com a realização de perfis analíticos em dois alvos da amostra RGJ-70, foram obtidos gráficos para a observação dos principais elementos presente na amostra analisada (Figuras 137 e 138).

Figura 137: Elementos detectados no alvo 1.

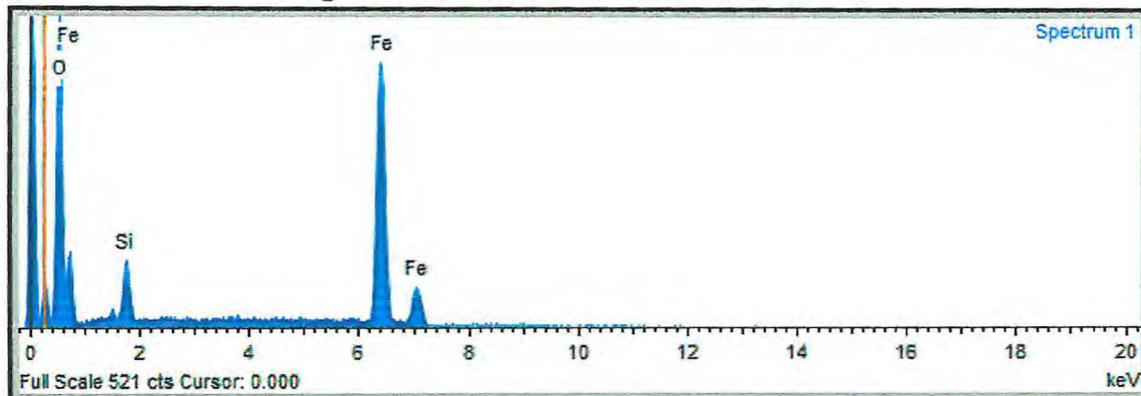
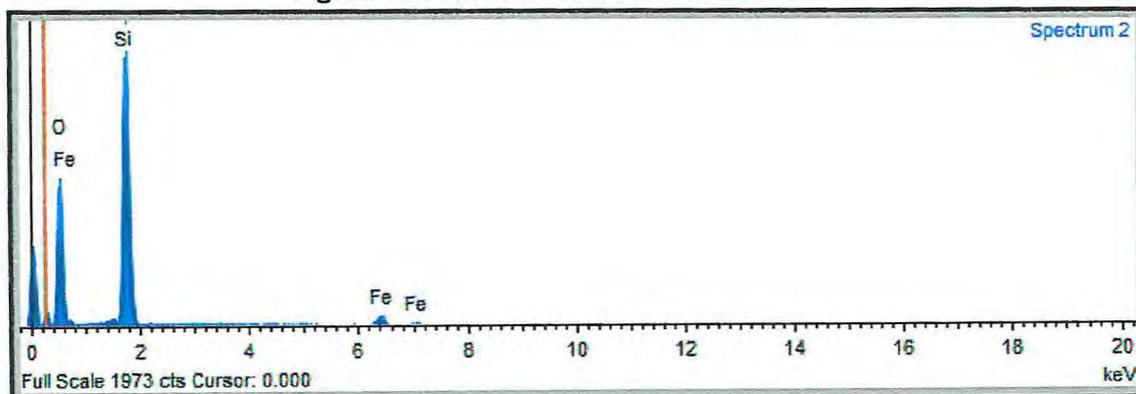
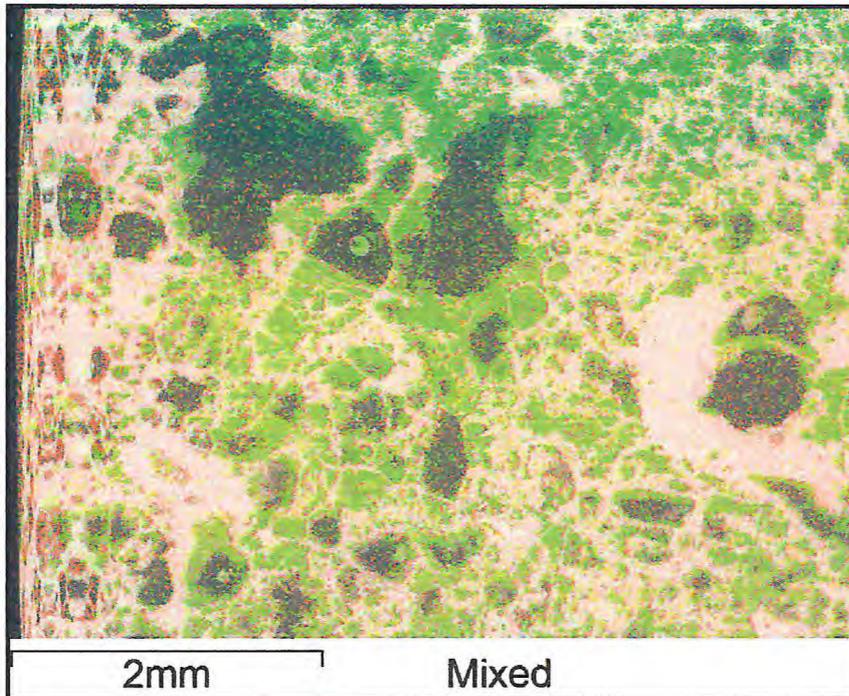


Figura 138: Elementos detectados no alvo 2.



No mapa de elementos da amostra DD-23 (Figura 139), é possível observar a representação dos principais elementos que compõem a rocha, onde a sílica é representada pela cor verde, o ferro é representado pela cor vermelha.

Figura 139: Mapa de elementos da amostra DD-23.



7.2.2 Manganês

Para a amostra do minério de manganês DD-14.A quatro alvos foram escolhidos para detalhamento das análises. Os resultados analíticos semi-quantitativos podem ser conferidos nas Tabelas 10, 11, 12 e 13.

Tabela 10: Resultado para o alvo 1.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Aluminum	3.665	0.573	4.468	6.925	Al ₂ O ₃
Silicon	5.174	0.621	6.060	11.069	SiO ₂
Calcium	7.930	0.661	6.508	11.096	CaO
Manganese	42.294	1.589	25.322	54.611	MnO
Barium	14.598	1.472	3.496	16.299	BaO
Oxygen	26.338	1.377	54.147		

Tabela 11: Resultado para o alvo 2.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	20.965	1.125	28.478	76.817	CO ₂
Magnesium	0.860	0.164	0.577	1.427	MgO
Aluminum	0.508	0.133	0.307	0.959	Al ₂ O ₃
Silicon	1.089	0.171	0.632	2.329	SiO ₂
Calcium	13.200	0.528	5.373	18.469	CaO
Oxygen	63.379	1.189	64.632		

Tabela 12: Resultado para o alvo 3.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	19.825	1.087	30.069	72.642	CO ₂
Aluminum	0.755	0.145	0.510	1.427	Al ₂ O ₃
Silicon	1.469	0.171	0.953	3.142	SiO ₂
Calcium	1.898	0.213	0.863	2.656	CaO
Bismuth	18.059	1.144	1.574	20.133	Bi ₂ O ₃
Oxygen	57.993	1.352	66.032		

Tabela 13: Resultado para o alvo 4.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	21.177	1.614	27.822	77.592	CO ₂
Magnesium	0.356	0.049	0.231	0.591	MgO
Aluminum	4.057	0.169	2.373	7.666	Al ₂ O ₃
Silicon	4.765	0.193	2.677	10.193	SiO ₂
Potassium	1.669	0.088	0.674	2.011	K ₂ O
Calcium	1.392	0.081	0.548	1.947	CaO
Oxygen	66.584	1.618	65.675		

A partir dos resultados observou-se que o mineral do Alvo 1 (Figura 140) apresenta composição média (tabela 10) de Al₂O₃ (6,925%), SiO₂ (11,069%), CaO (11,096%), MnO (54,611%) e BaO (16,299%).

O alvo 2 (Figura 141) apresenta composição média (tabela 11) de CO_2 (76,817%), Al_2O_3 (0,959%), SiO_2 (2,329%), CaO (18,469%) e MgO (1,427%), sendo provavelmente carbonato de cálcio.

O alvo 3 (Figura 142) apresenta composição média (tabela 12) de Al_2O_3 (1,427%), SiO_2 (3,142%), CaO (2,656%), CO_2 (72,642%) e Bi_2O_3 (20,133%). Provavelmente se trata de um cristal de bismuto.

O alvo 4 (Figura 143) apresenta composição média (tabela 13) de Al_2O_3 (7,666%), SiO_2 (10,193%), CaO (1,947%), MgO (0,591%), K_2O (2,011%) e CO_2 (77,592%).

Figura 140: Alvo 1 representando uma massa predominantemente manganesífera.

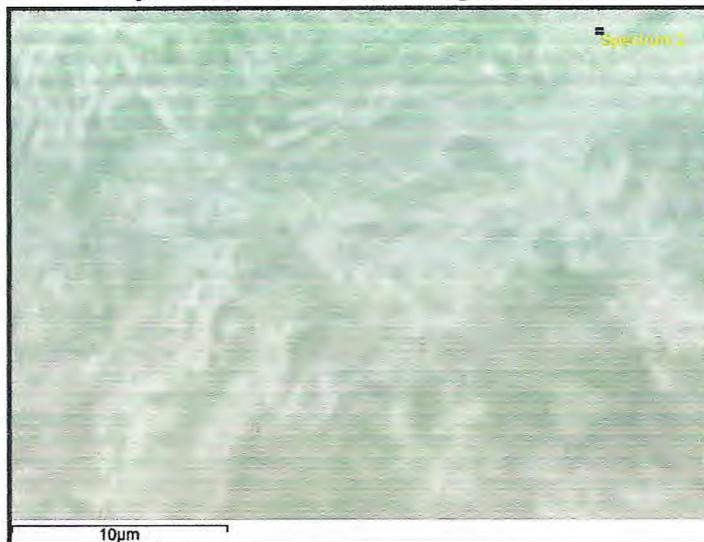


Figura 141: Alvo 2 representando carbonato de cálcio.

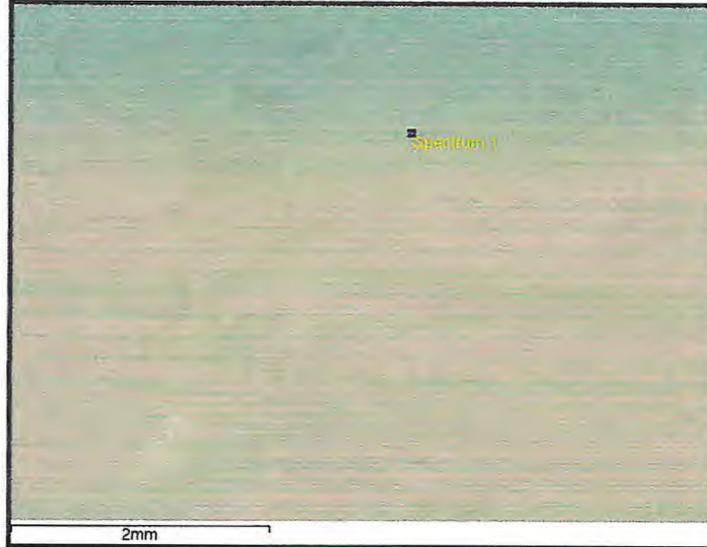
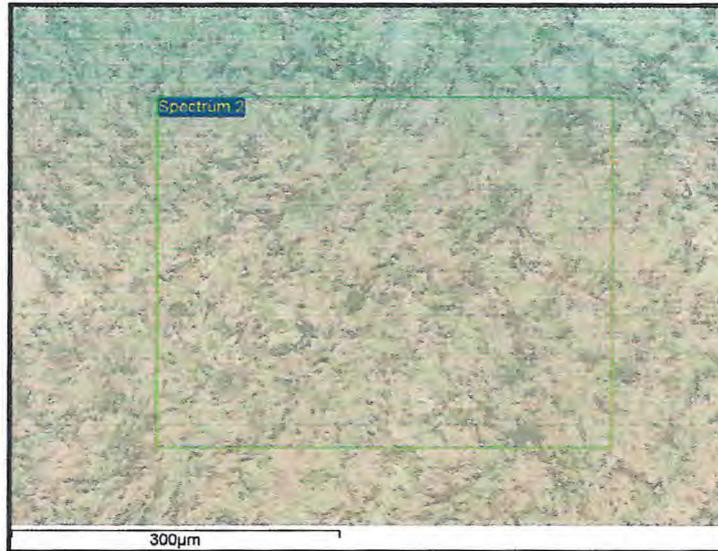


Figura 142: Alvo 3 representando cristal de bismuto.



Figura 143: Alvo 4 representando talco.



Com a realização de perfis analíticos em quatro alvos da amostra DD-14.A, foram obtidos gráficos para a observação dos principais elementos presente na amostra analisada (Figuras 144, 145, 146 e 147).

Figura 144: Elementos detectados no alvo 1.

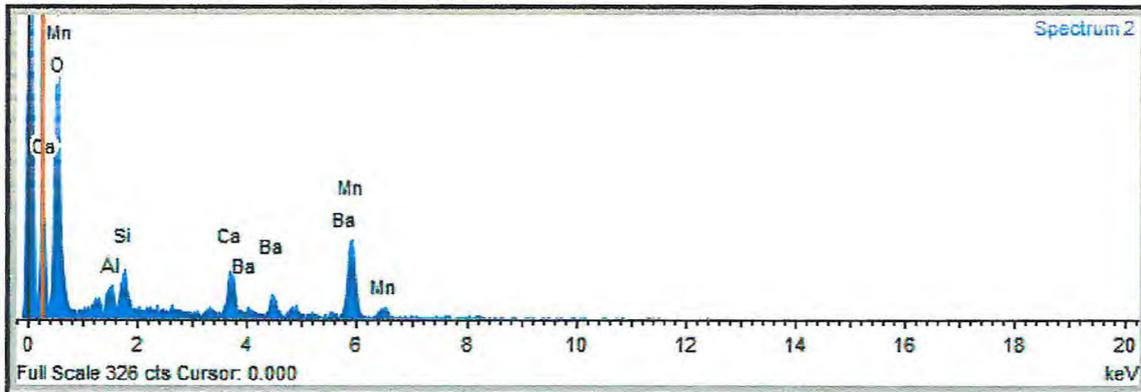


Figura 145: Elementos detectados no alvo 2.

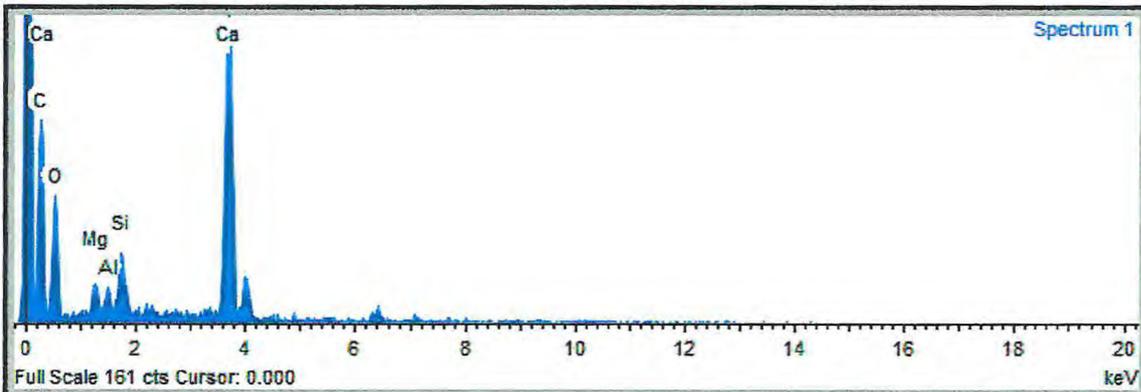


Figura 146: Elementos detectados no alvo 3.

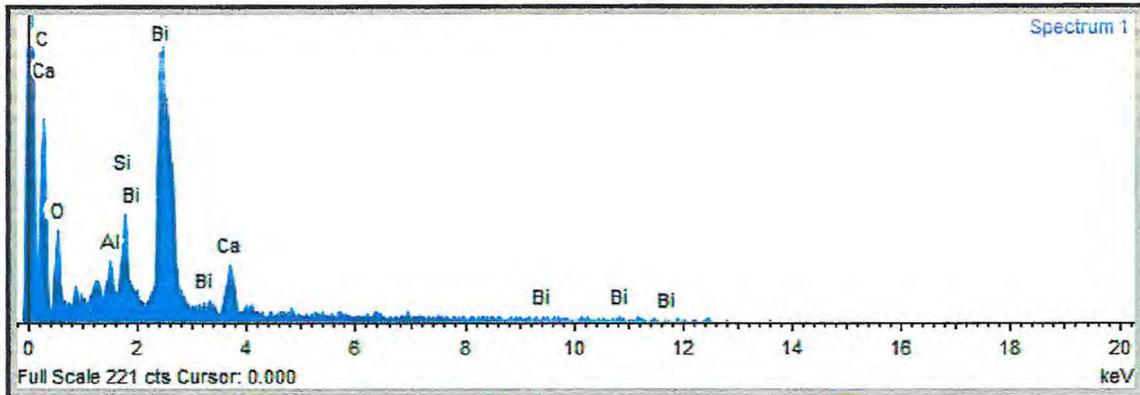
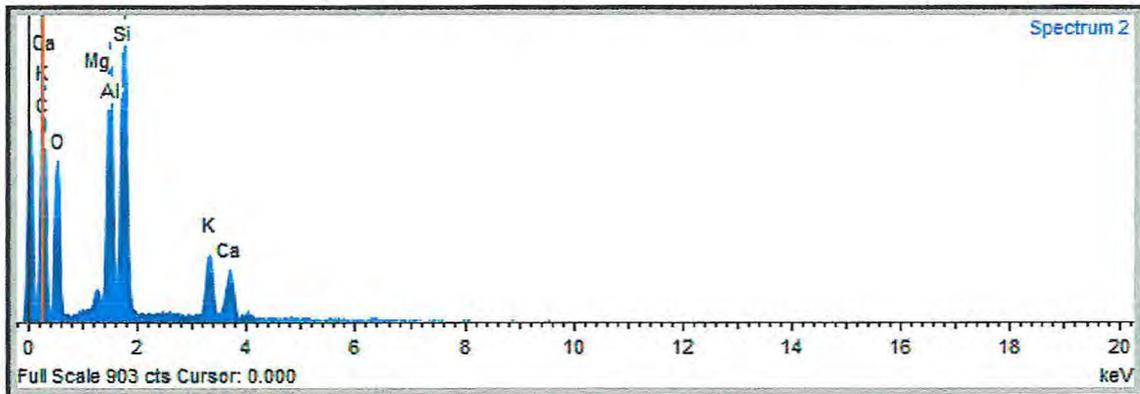
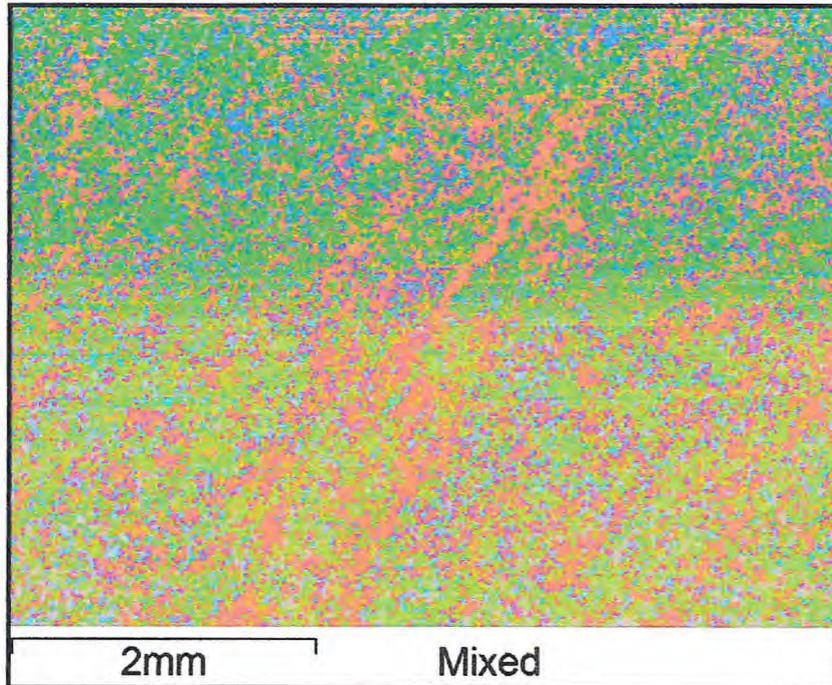


Figura 147: Elementos detectados no alvo 4.



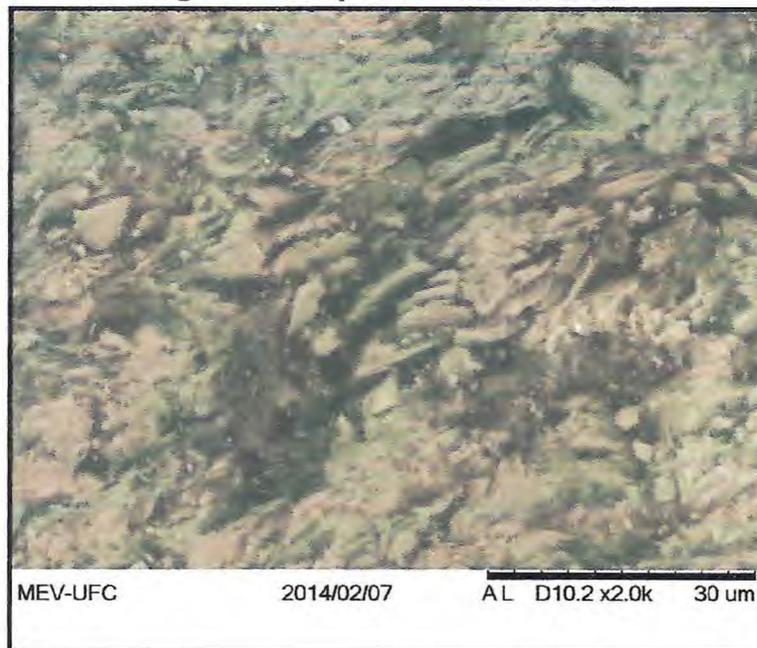
No mapa de elementos da amostra DD-14.A (Figura 148), é possível observar a representação dos principais elementos que compõem a rocha, onde a sílica é representada pela cor vermelha, o cálcio é representado pela cor verde e o alumínio é representado pela cor azul.

Figura 148: Mapa de elementos da amostra DD-14.A.



Na figura abaixo (Figura 149) o cinza mais claro representa o talco, sendo possível observar seu aspecto fibroso.

Figura 149: Aspecto fibroso do talco.



7.2.3 Mármore

Para a amostra de mármore DD-09.B oito alvos foram escolhidos para detalhamento das análises. Os resultados analíticos semi-quantitativos podem ser conferidos nas Tabelas 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 e 21.

Tabela 14: Resultado para o alvo 1.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	22.965	0.455	30.149	84.146	CO ₂
Magnesium	1.742	0.078	1.130	2.889	MgO
Calcium	9.267	0.170	3.646	12.966	CaO

Tabela 15: Resultado para o alvo 2.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	21.502	0.487	28.007	78.784	CO ₂
Magnesium	11.440	0.183	7.362	18.969	MgO
Calcium	1.606	0.073	0.627	2.247	CaO
Oxygen	65.452	0.502	64.004		

Tabela 16: Resultado para o alvo 3.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	23.297	0.350	29.701	85.362	CO ₂
Magnesium	8.261	0.109	5.203	13.697	MgO
Calcium	0.533	0.033	0.204	0.746	CaO
Iron	0.151	0.046	0.041	0.194	FeO
Oxygen	67.758	0.358	64.851		

Tabela 17: Resultado para o alvo 4.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	19.829	0.860	28.292	72.655	CO ₂
Magnesium	3.077	0.184	2.169	5.102	MgO
Calcium	0.922	0.115	0.394	1.290	CaO
Iron	16.287	0.591	4.998	20.953	FeO
Oxygen	59.885	0.961	64.146		

Tabela 18: Resultado para o alvo 5.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	17.426	0.876	25.014	63.852	CO2
Magnesium	0.937	0.103	0.665	1.554	MgO
Sulfur	6.909	0.243	3.715	17.251	SO3
Calcium	2.363	0.148	1.017	3.306	CaO
Iron	10.911	0.483	3.368	14.037	FeO
Oxygen	61.453	0.951	66.222		

Tabela 19: Resultado para o alvo 6.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	22.250	0.911	29.217	81.525	CO2
Magnesium	5.364	0.244	3.480	8.894	MgO
Calcium	6.847	0.280	2.694	9.580	CaO
Oxygen	65.539	0.944	64.609		

Tabela 18: Resultado para o alvo 7.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	19.756	1.007	26.182	72.386	CO2
Magnesium	9.604	0.326	6.288	15.924	MgO
Silicon	4.612	0.206	2.614	9.866	SiO2
Calcium	1.304	0.127	0.518	1.824	CaO
Oxygen	64.725	1.035	64.398		

Tabela 19: Resultado para o alvo 8.

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %	Comp ound %	Formul a
Carbon	18.019	1.016	26.852	66.024	CO2
Magnesium	2.789	0.215	2.053	4.625	MgO
Silicon	0.440	0.104	0.280	0.942	SiO2
Calcium	1.740	0.181	0.777	2.435	CaO
Iron	20.190	0.816	6.471	25.974	FeO
Oxygen	56.821	1.177	63.566		

Figura 150: Alvo 1 representando cristal de calcita.



Figura 151: Alvo 2 representando cristal de dolomita.



Figura 152: Alvo 3 representando cristal de dolomita.



Figura 153: Alvo 4 representando cristal com de ferro.



Figura 154: Alvo 5 representando cristal de pirita.

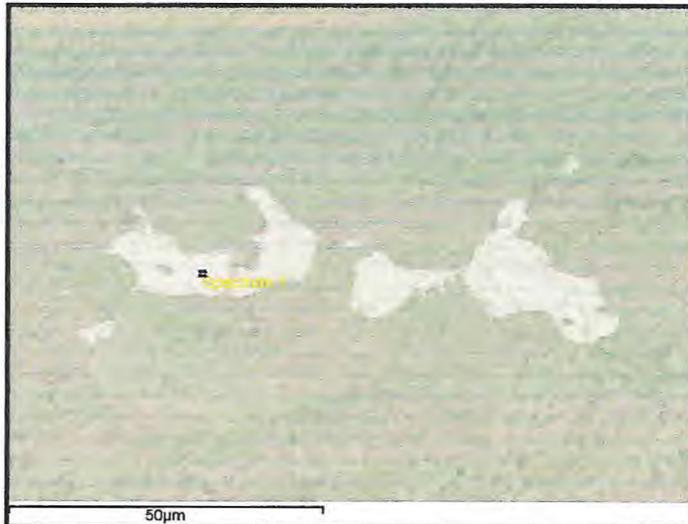


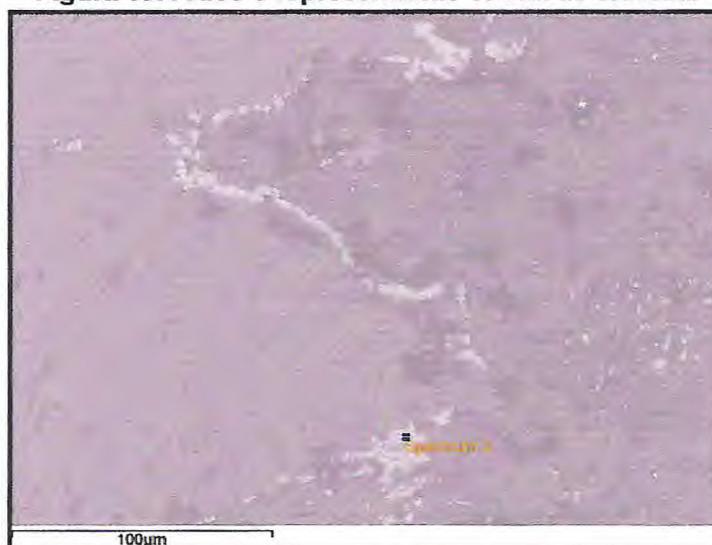
Figura 155: Alvo 6 representando cristal de dolomita.



Figura 156: Alvo 7.



Figura 157: Alvo 8 representando cristal de siderita.



A partir dos resultados observou-se que o mineral do Alvo 1 (Figura 150) apresenta composição média (tabela 14) de CO_2 (84,14%), CaO (12,96%) e MgO (2,9%) sendo portanto classificado como carbonato de cálcio (calcita).

O alvo 2 (Figura 151) apresenta composição média (tabela 15) de CO_2 (78,78%), MgO (18,97%) e CaO (2,25%) sendo portanto classificado como carbonato de magnésio (dolomita).

O alvo 3 (Figura 152) apresenta composição média (tabela 16) de CO₂ (85,362%), MgO (13,697%), CaO (0,746%) e FeO (0,194%) sendo portanto classificado como carbonato de magnésio (dolomita).

O alvo 4 (Figura 153) apresenta composição média (tabela 17) de CO₂ (72,66%), MgO (5,10%), CaO (1,29%) e FeO (20,95%) sendo portanto classificado como ferro.

O alvo 5 (Figura 154) apresenta composição média (tabela 18) de SO₃ (47,72%), FeO (38,83%), CaO (9,15%) e MgO (4,3%) sendo portanto classificado como sulfeto de ferro (pirita).

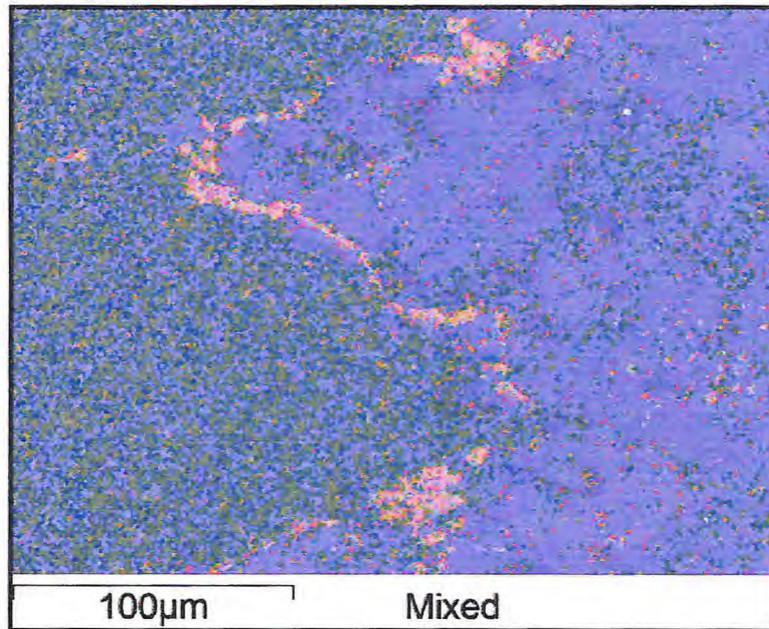
O alvo 6 (Figura 155) apresenta composição média (tabela 19) de CO₂ (81,53%), CaO (9,58%) e MgO (8,89%) sendo portanto classificado como carbonato de magnésio (dolomita).

O alvo 7 (Figura 156) apresenta composição média (tabela 20) de CO₂ (72,386%), MgO (15,924%), SiO₂ (9,866%) e CaO (1,824%).

O alvo 8 (Figura 157) apresenta composição média (tabela 21) de CO₂ (66,024%), FeO (25,974%), MgO (4,625%), CaO (2,435%) e SiO₂ (0,942%) sendo portanto classificado como siderita.

No mapa de elementos da amostra DD-09.B (Figura 158), é possível observar a representação dos principais elementos que compõem a rocha, onde o cálcio é representado pela cor verde, o ferro é representado pela cor vermelho e o magnésio é representado pela cor azul.

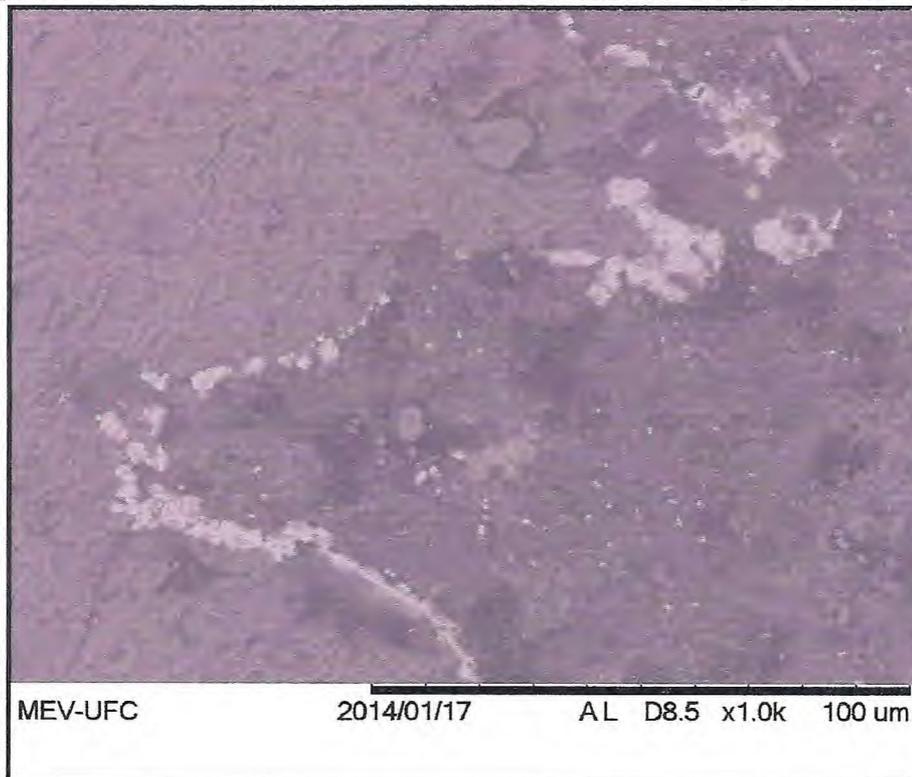
Figura 158: Mapa de elementos da amostra DD-09.B.



Através do mapa de elementos da amostra é possível observar que existem porções mais magnesianas e outras mais cálcicas, assim como é possível observar que há inclusões de calcita na dolomita (Figura 159) e de dolomita na calcita. Nota-se, ainda, que a siderita aparece bordejando a dolomita (Figuras 159).

Na figura abaixo (Figura 159) o cinza mais escuro representa o carbonato mais magnesiano (dolomita), o cinza mais claro representa o carbonato mais cálcico (calcita) e o branco representa a siderita.

Figura 159: Inclusões de calcita na dolomita e siderita bordejando a dolomita.



7.3 Conclusões

As análises realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram indispensáveis para a identificação da composição química de alguns minerais que não puderam ser identificados no microscópio óptico. Observou-se que os minerais opacos ocorrem, preferencialmente bordejando alguns cristais e percolando/preenchendo fraturas.

Foi possível observar ainda a composição química das mineralizações de ferro e manganês que ocorrem na área de estudo.

8 METAMORFISMO

8.1 Introdução

Durante os eventos metamórficos ocorridos na área de estudo foram formadas diversas assembléias minerais de acordo com a variação das condições de pressão e temperatura e composição das rochas.

A observação das paragêneses minerais em análise petrográfica permitiram sugerir as prováveis condições de metamorfismo.

8.2 Mármore

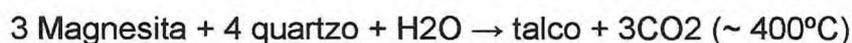
Os mármore dolomíticos fornecem bons indicadores de grau metamórfico, porque uma gama de silicatos de Ca-Mg podem se formar nas condições de P-T mais usuais do metamorfismo.

Uma seqüência de isógrada (Figura 160) de aparecimento mineral em calcários dolomíticos metamorfisados regionalmente parece ser talco (nem sempre presente), tremolita, diopsídio ou forsterita, e diopsídio + forsterita, descrita por Eskola (1922) e refinada por Bowen (1940) e Tilley (1951). A formação de cada mineral caracteriza um fácies metamórfico.

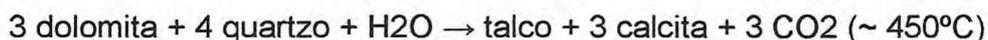
As possíveis reações de formação de uma seqüência isógrada nos mármore dolomíticos são:

Formação do talco: (fácies xisto-verde)

Equação 1:

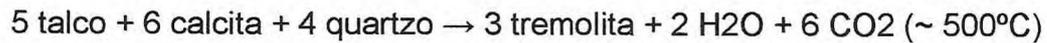


Equação 2:



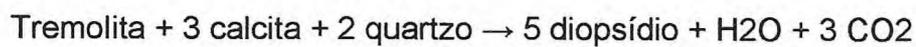
Formação da tremolita: (fácies xisto-verde)

Equação 3:



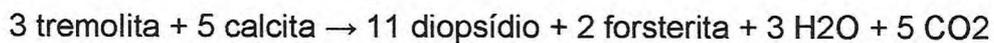
Formação diopsídio ou forsterita: (fácies anfibolito inferior)

Equação 4:



Formação do diopsídio + forsterita:

Equação 5:

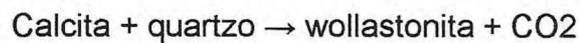


Equação 6: (fácies anfibolito superior)



Formação da wollastonita: (fácies granulito)

Equação 7:



Equação 8:

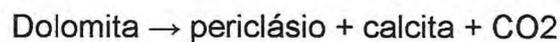
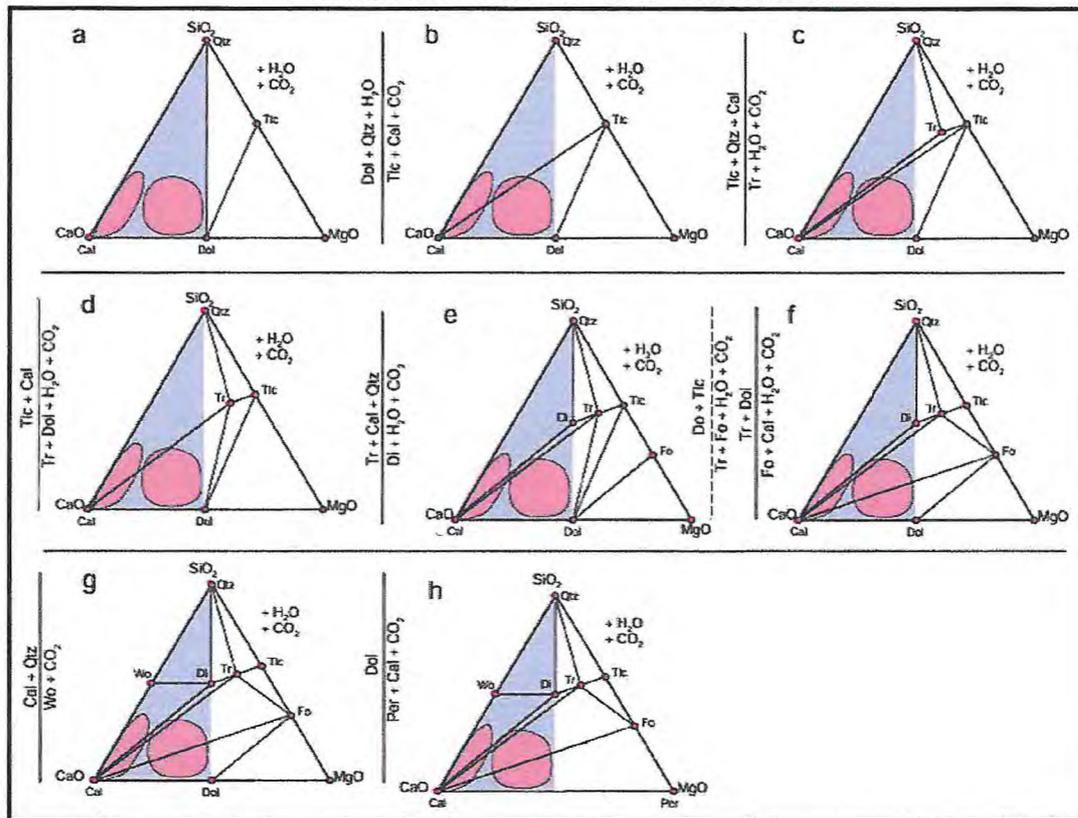


Figura 160: Reações de formação dos minerais de uma sequência isógrada de metamorfismo dos mármore dolomíticos.



Fonte: Descrita por Eskola (1922) e refinada por Bowen (1940) e Tilley (1951).

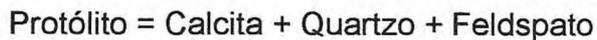
Os mármore calcíticos são compostos essencialmente por calcita com proporções subordinadas de quartzo e filossilicatos (origem detrítica). Algumas vezes aparecem grafita (derivada de antigos restos orgânicos) e pirita como acessórios.

A assembleia: calcita + quartzo + filossilicatos + grafita + pirita fornece poucos indícios em relação às condições de sua formação.

A associação mineralógica observada nos mármore da região de estudo foi calcita, dolomita, biotita, massa carbonatada, diopsídio e opacos (siderita e pirita). O que caracteriza provavelmente um gradiente de fácies metamórfico anfibolito inferior.

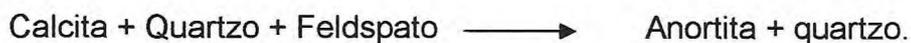
8.3 Calcissilicáticas e Skarns

Durante os eventos metamórficos ocorridos na área de estudo foram formadas diversas assembléias minerais de acordo com a variação das condições de pressão e temperatura.



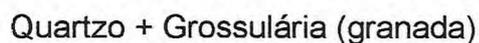
Durante o metamorfismo que atingiu a área estudada, formaram-se as assembléias minerais abaixo (modificado de Greenwood (1967) and Kerrick (1974)):

Equação 1:

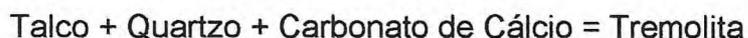


:

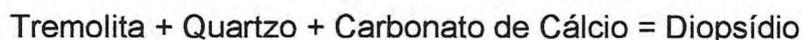
Equação 2:



Equação 3:



Equação 4:



A percolação de fluidos gerados pelo metamorfismo/metassomatismo que ocorreu durante a intrusão do plúton granítico resulta no processo de

skarnitização. Através das análises petrográficas foi determinada a seguinte assembléia mineral que compõe os *skarns*:

Carbonato de Cálcio + Quartzo + Anortita (plagioclásio) + tremolita +
Diopsídio + Grossulária (granada).

A maioria dos *skarns* apresentam um padrão geral de zonação, sendo a granada formada em uma zona mais proximal da intrusão granítica e o piroxênio e a wollastonita em uma zona mais distal do plúton e por consequência mais proximal ao *skarn* e ao mármore.

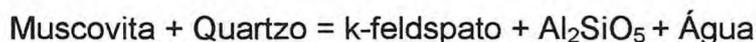
8.4 Gnaiss Migmatítico

Um dos processos típicos em fácies anfibolito superior é a anatexia ou fusão parcial. Com avanço de fusão parcial formam-se migmatitos nos quais é possível reconhecer a porção que resultou de fusão - o leucossoma, a parte original da rocha - o mesossoma e a melanossoma que é uma parte de concentração de minerais refratários, ou não fundidos, nas margens do leucossoma.

Um bom exemplo de fusão parcial é de rochas que contêm muscovita cuja desestabilização resulta, mas não sempre, em fusão parcial.

Sob pressões relativamente baixas a muscovita se desestabiliza por desidratação:

Equação 1:



Sob pressões elevadas:

Equação 2:

Muscovita + plagioclásio + k-feldspato + quartzo + Água = L

Ou

Equação 3:

Muscovita + Quartzo + plagioclásio = Al_2SiO_5 + k-feldspato + L, onde L significa líquido ou fundido.

8.5 Anfibolito

Os minerais que compõem o anfibolito são essencialmente plagioclásio mais cálcico (em vez de albita) e o Ca-anfibólio hornblenda que são minerais formados tipicamente no fácies anfibolito.

8.6 Metamorfismo Regressivo

Este evento, de distribuição irregular, atingiu somente parte das rochas da área e sua importância é bem menor que a do evento anterior. Associada a esta fase ocorreram fenômenos de cisalhamento de extensão restrita e intensidade variável, cujo efeito foi, provavelmente, o de facilitar a percolação de água nas rochas, formando assembléias hidratadas e de baixo grau metamórfico.

Dentre as reações mais comuns desta fase merece citação a formação de clorita a partir de anfibólios, biotitas e granadas. Por vezes, quando da transformação de granadas, quartzo ocorre associado às cloritas. Também a transformação oligoclásio e andesina em albita e epídoto.

8.7 Conclusões

Através das paragêneses minerais observadas nas análises petrográficas das rochas da área de estudo foi possível estimar os prováveis fácies metamórficos desta.

A presença desses gnaisses migmatíticos que passaram por processo de fusão parcial, rochas anfibolíticas e mármore contendo diopsídio indicam um grau metamórfico alto, provavelmente no fácies anfibolito. Por outro lado, a presença de minerais hidratados como clorita, muscovita e epídoto indicam que houve um metamorfismo regressivo ou seja, parte da área também foi atingida por um grau metamórfico menor, possivelmente no fácies xisto-verde.

9 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Através do mapeamento geológico realizado na escala 1:25.000 na porção sudoeste do município de Santa Quitéria, foi possível a identificação de diversos litotipos: mármore, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, gnaisses-migmatíticos, granitóides, skarns, além de mineralizações de ferro e manganês.

As rochas supracrustais (mármore, anfíbolitos e rochas calcissilicáticas) bem como rochas de origem magmáticas, foram submetidas a um evento metamórfico/deformacional, onde estas foram parcialmente fundidas, dando origem aos migmatitos. Num segundo evento de deformação, essas rochas foram intrudidas por plútons graníticos, originando assim os *Skarns*, além de mineralizações de ferro e manganês.

A formação dos *skarns* ocorreu durante a intrusão de plútons graníticos sin ou pós- colisionais, ou seja, após a formação do arco magmático de Santa Quitéria, Esses *skarns* foram gerados através de metassomatismo nas auréolas de metamorfismo de contato geradas por essas intrusões graníticas nas rochas carbonáticas.

A configuração estrutural da área é marcada principalmente por dois eventos metamórficos/deformacionais, sendo o primeiro caracterizado por *nappes/cavalgamentos* cujas deformações são dúcteis, originando feições estruturais, tais como foliações, lineações e dobramentos. O segundo evento é caracterizado por transcorrências cujas feições são rúpteis, originando estruturas tais como falhas e fraturas.

As análises microscópicas foram fundamentais para a identificação das assembleias minerais dos litotipos presentes, bem como de suas feições estruturais e do grau metamórfico a que essas rochas foram submetidas.

A transformação da hornblenda em actinolita, a saussuritização do plagioclásio com formação de epidoto e carbonato, a associação de epidoto + actinolita (hidrotermalismo) e a formação de titanita a partir da ex-solução de

biotita são algumas reações que mostram a desestabilização de minerais estáveis no fácies anfíbolito e cristalização mais forte de actinolita, epidoto e clorita os quais são estáveis em ambientes de condições metamórficas de menor grau, mais especificamente no fácies xisto-verde, permitindo concluir que o metamorfismo atuante na área varia do fácies anfíbolito médio-superior ao fácies xisto verde e indicando que as rochas da área pesquisada sofreram um retrometamorfismo.

As análises realizadas no microscópio eletrônico de varredura (MEV) foram indispensáveis para a identificação da composição química de alguns minerais que não puderam ser identificados no microscópio óptico.

É importante registrar que a presença dos mármore, anfíbolitos, rochas calcissilicáticas, *skarns* e mineralizações de ferro e manganês nessa associação, não estão registradas no mapa geológico do estado do Ceará (Folha Quixadá – CPRM 2013), e ressaltar sua extensão em quase toda a área de estudo, como pode ser observado no mapa geológico estrutural local (Anexo 1).

Sugerimos que a CPRM registre a presença das rochas supracrustais, bem como dos *skarns* e das mineralizações de ferro e manganês presentes na área de estudo, no mapa geológico do estado do Ceará – Folha Quixadá.

10 BIBLIOGRAFIA

- Almeida, F.F.M. 1977 **O Cráton do São Francisco**. Rev. Bras. Geoc. 7.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito-Neves B.B., AND Fuck, R.A. 1981. **Brazilian structural provinces: an introduction**. *Earth Science Reviews*.
- Almeida, A.R. *et al.*, (1999). **O Batólito Quixadá e Petrologia e Geoquímica**. Revista de Geologia.
- Amaral, W. S., (2010). **Análise geoquímica, geocronológica e termobarométrica das rochas de alto grau metamórfico, adjacentes ao arco magmático de Santa Quitéria, NW da Província Borborema**. (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo. 248p.
- Amaral, W. S., (2011). **Caracterização estrutural, geoquímica, geocronológica e aerogeofísica das sequências de rochas máfica e ultramáfica da região de Novo Oriente-CE, Domínio Ceará Central, NE do Brasil**. Projeto Universal CNPq, Fortaleza. 22p.
- Arthaud M.H., Vasconcelos A.M., Nogueira Neto J.A.,Oliveira F.V.C., Parente C.V., Monié P., Liégeois J.P., Caby R., Fetter A.H. 1998. **Main Structural Features of Precambrian Domains From Ceará (NE Brazil)**. In: Intern. Conf. Basement Tectonics, 14.
- Arthaud, M. H., (2007). **Evolução Neoproterozoica Do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE do Brasil): Da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira**. In: SBG, Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande – PB, Boletim de Resumos, 6: 363 – 391.
- Assis, R. R. **Depósitos do Tipo Skarn**. Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. São Paulo.
- Best. M. G., (2003). **Igneous and Metamorphic Petrology**. Second Edition. Brigham Young University.

Biondi, J.C., (2003). **Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros**. Ed. Oficina de Textos.

Brito Neves, B. B. (1975). **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. 1975. 198 f. (Tese de Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Caby, R. 1989. **Precambrian terranes of Benin-Nigeria and northeast Brazil and the Late Proterozoic south Atlantic fit**. Geological Society of America Special Paper 230.

Caby, R. 1989: **Precambrian terranes of Benin-Nigeria and northeast Brazil and the Late Proterozoic south Atlantic fit**. Geol. So. Amer., Special Papers.

Caby, R. & Arthaud, M. H. 1986. **Major precambrian *nappes* of the Brazilian Belts, Ceará, Northeast Brazil**. *Geology*.

Castaing, C. F.; Thiéblemont, T. C. & Chevremont, P. 1994. **Paleogeographical reconstruction of the Pan-African/Brasiliano orogen: closure of an oceanic domain or intracontinental convergence between major blocks**. *Precambrian Research*.

Castro, N. A., (2004). **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taparuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. (Tese de doutorado), Universidade de São Paulo.

Cavalcante, J.; Ferreira, C.A. 2003. **Mapa Geológico do Estado do Ceará (1:500.000) CD-ROM CPRM/MME**.

CPRM, (1998). **Diagnóstico do Município de Santa Quitéria**. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

CPRM. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

CPRM, (2008). **Geologia da Folha Itatira**. Levantamentos Geológicos Básicos. Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

CPRM, (2013). **Geologia da Folha Quixadá**. Levantamentos Geológicos Básicos. Serviço Geológico do Brasil – CPRM., escala 1: 180.000.

Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. **UPT Jazigos do tipo Skarn**. Lisboa, 2006.

Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, 2012. **Sumário Mineral**, volume 32.

Fetter, A.H., *et al.*, (2000). **UPb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal evolution and basement architecture of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the existence of the Paleoproterozoic supercontinent “Atlantica”**. Revista Brasileira de Geociências.

Fetter, A.H., (1999). **U/Pb and Sm/Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará State, NW Borborema province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana**. Ph.D. Thesis, Department of Geology, Kansas University, Lawrence, KS – USA.

Fetter, A.H. *et al.*, (2003). **Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema province, NE Brazil: implications for the assembly of west Gondwana**. Gondwana Research.

Gomes, J.R.C., Ferreira C.A., and Vasconcelos A.M., 1998, **O terreno Granjeiro e sua evolução policíclica no contexto da Província Borborema**. XL Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, Anais.

IPECE, (2012). **Perfil Básico Municipal, 2012**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. Governo do Estado do Ceará.

IPECE, (2007). **Ceará em Mapas, 2007**. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE. Governo do Estado do Ceará.

IPLANCE - **Nordeste indicadores**: Ceara; Maranhao; Pernambuco; Rio Grande do Norte. Fortaleza-CE. IPLANCE, 1997.

Jardim de Sá, E. F. 1994. **A faixa Seridó (Província Borborema) E o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana.** Inst. De Geociência, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado.

Jardim de Sá, E. F., Hackspacher, P.C. 1982. **Revisão sobre análise estrutural,** parte I- Conceituação básica e conceitos. SBG, revista ciência da terra.

Lama, E. A. D. *et al.* (1994). **Geotermobarometria em Rochas do Complexo Campos Gerais ao Norte da Zona de Cisalhamento Varginha.** Revista Brasileira de Geociências.

Meinert, L. D. (1992). **Skarns and skarn deposits.** Department of Geology, Washington State University, v.19, nº 04.

Parahyba. R. E. R., *et al.*, (2009). **Mineração no Semiárido Brasileiro.** Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Brasília – DF.

PROJETO RADAMBRASIL. - Ministério do Exército, Diretoria de Serviço Geográfico: Ministério das Minas e Energia, DNPM, 1981.

PROJETO RADAMBRASIL. - Ministério do Exército, Diretoria de Serviço Geográfico: Ministério das Minas e Energia, DNPM, 1987.

Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará – SRH, **Atlas Digital**, 1992.

Souza, A. 2004. **Mapeamento Geológico da Borda Leste do Batólito de Santa Quitéria – Região de Umirim, CE.** Trabalho de Conclusão de Curso, UNICAMP, Campinas-São Paulo.

Torres, P. F. M. *et al.* (2006). **Aspectos Geológicos, Petrográficos e Geoquímicos dos Mármore Dolomíticos com Nódulos de Quartzo da Sequência Metavulcano-Sedimentar de Acarape-Ce.** Revista Brasileira de Geociências.

Trompette, R. 1994. **Geology of western Gondwana, Pan-African/Brasiliano Aggregation of South America and Africa.** A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.

Van Schmus, W. R., Brito-Neves, B.B., Hackspacher, P. C., Fetter, A. H., Kozuch, M., Dantas, E. L., and Babinski, M. 1997. **The Borborema province: a**

collage of polycyclic domains in NE Brazil. 17º Simpósio de Geologia do Nordeste, Soc. Bras. de Geologia.

Vauchez, A; Neves, S.; Caby, R; Corsini, M, Egydio-silva, M. Arthaud, M. & Amaro, V.1995. **The Borborema shear zone system, NE Brazil.** Journal of South American Earth Sciences. vol 8

Zincone, S., (2011). **Petrogênese do Batólito Santa Quitéria: implicações ao magmatismo Brasileiro na porção norte da Província Borborema, NE Brasil.** Dissertação de Mestrado, IG-Unicamp.