



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LUÃ BARROSO MENEZES

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ASPECTOS TIPOLÓGICOS DAS
OCORRÊNCIAS DE COBRE DA PORÇÃO OESTE DA BACIA EO-PALEOZÓICA
DO COCOCI-CE

FORTALEZA-CEARÁ

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LUÃ BARROSO MENEZES

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ASPECTOS TIPOLOGICOS DAS
OCORRÊNCIAS DE COBRE DA PORÇÃO OESTE DA BACIA EO-PALEOZÓICA
DO COCOCI-CE

Relatório de Graduação submetido à
Coordenação do Curso de graduação em
Geologia da Universidade Federal do Ceará
como requisito para obtenção do grau de graduando em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente

Co-orientador: Prof. Dr. Otaciel de Oliveira Melo

FORTALEZA-CEARÁ

Fevereiro DE 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M511m Menezes, Luã Barroso.
Mapeamento geológico e aspectos tipológicos das ocorrências de cobre da porção Oeste da Bacia Eo-Paleozóica do Cococi-Ce / Luã Barroso Menezes. – 2012.
108 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2012.

Orientação: Prof. Dr. Clóvis Voz Parente.

Coorientação: Prof. Dr. Otaciel de Oliveira Melo.

1. Bacia do Cococi (CE) - Mapeamento geológico. 2. Bacia do Cococi (CE) - Ocorrências de cobre. 3. Geologia. I. Título.

CDD 551

LUÃ BARROSO MENEZES

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E ASPECTOS TIPOLOGICOS DAS
OCORRÊNCIAS DE COBRE DA PORÇÃO OESTE DA BACIA EO-PALEOZÓICA
DO COCOCI-CE

Monografia submetida à coordenação do Curso de Graduação em Geologia, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de
Geólogo. Área de concentração: Laboratório de Geologia Econômica.

Aprovado em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente

Departamento de Geologia

Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral

Departamento de Geologia

~~Prof. Dr.~~ César Ulisses Vieira Veríssimo

LUÃ BARROSO MENEZES

MAPEAMENTO GEOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE
COBRE DA PORÇÃO OESTE DA BACIA EO-PALEOZÓICA DO COCOCI-CE

Monografia submetida à coordenação do Curso de Graduação em Geologia, da
Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de
Geólogo. Área de concentração: Laboratório de Geologia Econômica.

Aprovado em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente

Departamento de Geologia

Prof. Dr. Wagner da Silva Amaral

Departamento de Geologia

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

Agradecimento

Conquistar é para isso que nascemos. Deus criou o mundo para que nos passássemos a usufruir de seus recursos. Tanto é que passamos 5 anos estudando para podermos conquistar e usufruir o que é de direito nosso, A TERRA. No entanto as conquistas são realizadas com ajuda de pessoas que passam por nossas vidas, além é claro, da intervenção Divina.

Por isso gostaria de agradecer primordialmente a Deus, autor e consumidor da vida.

Aos meus pais Francisco Antônio de Alencar Menezes e Paula Wanda Barroso Menezes, pelo imensurável esforço em me instruir no caminho da educação, ao forjar em mim um caráter cristão e por estarem sempre presentes em vida me amando. Aos meus irmãos Levi e Larissa por fazerem parte da minha e me ensinar muita coisa até mesmo sem perceberem.

A minha futura esposa Karoline pelo apoio, incentivo, carinho e amor e que amor.

Aos meus avós Francisco Rufino de Menezes (apesar de torcer Fortaleza) e Terezinha de Alencar Menezes pelo enorme carinho e por acreditarem em mim desde pequeno quando eles sempre levavam sacos de trigo cheio de frutas e verduras la pra casa. As minhas tias Cristina, Isabel, Conceição e Esmeralda, em especial por tantas vezes preparar almoço para toda família.

A minha vó Maria de Lurdes Távora e ao finado vô Paulo Barroso (por torcer Ceará) por manterem sua casa sempre de portas abertas. Aos meus tios Henrique (grande coração), Paulo Neto (o grande pescador de vidas), Germano (nosso herói) e tia Elisangela (nossa heroína), ao tio Pedro Jorge (futuro pregador da palavra de Deus) pela confiança e o carinho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Clóvis Vaz Parente pela orientação, compreensão, por me instruir, influenciar nas decisões geológicas, sempre desejando sucesso em minha vida e por sua amizade.

Meu co-orientador Prof. Dr. Otaciel de Oliveira Melo pela enorme ajuda e disposição na etapa de campo e na elaboração deste relatório.

Aos demais professores do Departamento de Geologia que contribuíram para minha formação: Cesar Veríssimo, por sempre disponibilizar materiais de estudo; Afonso Rodrigues por estar sempre disponível para tirar dúvidas, mesmo deixando mais questionamentos em minha cabeça; Christiano Magini por ensinar muita geologia apesar do jeito dele; Wellington Ferreira grande orador; Cynthia Romariz por confiar em nosso potencial; George Satander por conceder várias oportunidades de aprendizado em campo; Profª. Tereza Falcão por ter um coração enorme; Prof. Wagner Amaral que acabou de chegar ao departamento por sua atenção; Cajaty por sua paciência e a maior calma do mundo.

Aos amigos do DEGEO que durante todo esse período acadêmico de aulas de campo e laboratório, diga-se de passagem inesquecíveis, me acompanharam e ajudaram, são eles e elas: Aline, Juliana, Daiana, Narelle, Rafa, Elizimara, Karem, Rafael, Elenilza, Jeferson, Higor, Elício e Cristian em especial 6 cabras bom, Elenilton, Fernando, Fabiano, Lívio, Solon e Cecílio, por fazerem parte da minha vida e fazerem das aulas de campo os melhores da minha vida.

Aos meu amigos da igreja, em especial João Vitor, Cris, Ercílio e Soraide por torcerem e estarem sempre orando.

A empresa TERRATIVA pelo apoio financeiro que contribuiu, fundamentalmente, para a qualidade e realização desse trabalho.

E por fim, quero dizer que Amo todos vocês.

Dedicatória

A minha Família

Alencar,

Paula,

Levi,

Larissa.

E minha futura esposa

Karoline.

Epígrafe

“Se alguém quer vir após mim, negue-se a si mesmo, e tome cada dia a sua cruz, e siga-me. Porque qualquer que quiser salvar a sua vida perdê-la-á; mas qualquer que, por amor de mim perder a sua vida a salvará.”

Jesus

RESUMO

A área do trabalho situa-se no município de Parambu, sudoeste do estado do Ceará. Em termos geológicos essa área está inserida na Bacia do Cococi de idade eo-paleozóica, localizada na porção Setentrional da Província Borborema. A bacia do Cococi corresponde a uma bacia molássica do Estágio de Transição (Ciclo Brasileiro – 0.7 – 0.5 Ga) do tipo rifte e/ou *pull-apart* controlada pela atividade tardia das transcorrências relacionadas ao colapso do orógeno Brasileiro. Nas últimas décadas, a bacia vem sendo alvo de pesquisas por parte de empresas de mineração, devido ao variado número de ocorrências de cobre e barita ali presentes. Objetivando a melhor caracterização dessas ocorrências realizou-se o mapeamento geológico em escala 1:25.000 em uma área de 100 Km² na região oeste da Bacia do Cococi. Para isso usou-se imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 7, de radar SRTM e gamaespectrométrica que foram processadas no software ENVI e ArcGis. Os resultados revelam que a bacia do Cococi é constituída por uma sequência plutono-sedimentar cujas rochas sedimentares são compostas por conglomerados polimíticos, arenitos, siltitos, argilitos e calcário intercalados que perfazem cerca de 80% das unidades da Bacia. A sequência plutônica é representada por granitóides brasileiros que se distribuem principalmente ao longo das bordas sul e norte da referida bacia ao longo das falhas que delimitam a bacia. Tais rochas encontram-se em grande parte brechadas e alteradas hidrotermalmente. Entre as alterações destacam-se a propilitização, cloritização e silicificação. As ocorrências de cobre, representadas por malaquita e calcopirita, ocorrem disseminadas e em veios associadas aos granitos sin a tardi-brasiliano hidrotermalizados e localmente brechadas principalmente na borda sul. Além dessas ocorrências são encontradas também veios de malaquita junto aos siltitos cinza esverdeado dessa bacia. Considerando que a mineralização de cobre mostra uma estreita relação com as rochas graníticas que se encontram brechadas e alteradas hidrotermalmente pode-se dizer que o principal controle dessa ocorrência é do tipo lito-estrutural, cuja origem está associada ao plutonismo desencadeado ao longo das zonas de cisalhamento que bordejam a bacia. Isso reforça também a hipótese que as bordas de bacias, particularmente, do tipo rifte, correspondem às regiões mais favoráveis às concentrações de fluidos mineralizantes, que podem ser tanto de origem vulcanogênica e/ou plutônica quanto oriundo das rochas sedimentares (fluidos meteóricos e/ou conatos) que mostram preferência por locais e/ou zonas de menor pressão.

Palavras-chave: Bacia do Cococi, mapeamento geológico, ocorrências de cobre Província Borborema.

Abstract

The area of work is situated in the municipality of Parambu, southwest of the state of Ceara. In geological terms this area is inserted in Cococi Basin and Paleozoic age, located in the northern portion of the Borborema Province. The basin represents a watershed Cococi molássica Stage Transition (Brasiliano Cycle - 0.7 - 0.5 Ga) of the rift and / or pull-apart controlled by the activity of late transcurrent related to the collapse of the Brasiliano orogen. In recent decades, the basin has been the subject of research by mining companies, due to the varied number of occurrences of copper and barite present there. Aiming at a better characterization of these occurrences took place in the geological mapping on 1:25,000 scale an area of 100 square kilometers in the western Basin Cococi. For it was used satellite images Landsat 5 and Landsat 7, SRTM radar and gamaespectrométrica that were processed using ENVI and ArcGIS. The results show that the basin consists of a Cococi plutono-sedimentary sequence which sedimentary rocks are composed of polymictic conglomerates, sandstones, siltstones, mudstones and limestone interspersed representing about 80% of the units in the Basin. The sequence is represented by plutonic Brasiliano granitoids that are distributed mainly along the southern and northern edges of said bowl along the faults bounding the basin. These rocks are largely changed brecciated and hydrothermally. Among the changes include the propylitic, silicification and chloritization. The occurrences of copper, represented by malachite and chalcopyrite occur disseminated and in veins associated with granite syn-to late Brasiliano hidrotermalizados and locally brecciated mainly in the southern border. In addition to these occurrences are also found along veins of malachite green to gray siltstones of this basin. Whereas the copper mineralization shows a close relationship with granite rocks that are altered and hydrothermally brecciated can be said that the main control of this occurrence is litho-structural type, whose source is associated with the triggered plutonism along the zones shear bordering the basin. This also reinforces the hypothesis that the edges of basins, particularly the rift, correspond to the most favorable concentrations of mineralizing fluids, which can be both source vulcanogênica and / or plutonic and derived sedimentary rocks (meteoric fluids and / or conatos) that show a preference for local and / or areas of lower pressure.

Keywords: Basin Cococi, geological mapping, occurrences of copper Borborema Province.

Abreviaturas e Siglas

Op – Opacos

Kf – Feldspato potássico

Bt – Biotita

Qz – Quartzo

Ms – Muscovita

Ap – Apatita

Pl – Plagioclásio

Cpx – Clinopiroxênio

Ttn – Titanita

Cl – Clorita

Cal ou Ca – Calcita

Zrn – Zircão

Ep – Epidoto

Lm – Limonita

Fl – Fluorita

Mal - Malaquita

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Afloramento de Quartzito da Unidade Arneiroz, às margens da BR-020, orientado segundo o trend regional 105/80°NE (UTM 306572/9283062). Foto 2: Detalhe da foto anterior mostrando o Grupo Serra Grande cobrindo o Quartzito.	39
Foto 3: Granodiorito milonitizado exibindo sigmóides destrais. Foto 4: Amostra de mão do clinopiroxênio tonalito com titanita exibindo uma foliação incipiente.	40
Foto 5: Dique traquítico de direção NE-SW cortado monzogranitos da suíte pré a sin-brasiliana (UTM 311462/9293837).	41
Foto 6: Granito milonitizado com foliação verticalizada (UTM 311462/9293837). Foto 7: Detalhe da foto anterior mostrando foliação com direção 70°Az, verticalizada. Plano XZ.	41
Foto 8 a: Estratificação formada por derrames de rochas hipoabissais (UTM 311628/9294163).	42
Foto 9: Disque plutônico de composição monzogranítica com fraturas sistemáticas NW/SE (UTM 311274/9294482).	43
Foto 10: Diques de rochas vulcânicas (UTM 311620/9294176), em discordância com as rochas graníticas supracitadas.	43
Foto 11: Dique vulcânico levemente concordante com os diques plutônicos (UTM 311620/9294176).	44
Foto 12: Dique vulcânico com xenólito da rocha encaixante (UTM311628/9294163).	44
Foto 13: Afloramento do granito sin a tardi-brasiliano mostrando a malaquita em planos de fraturas.	45
Foto 14: Foto do granito sin a tardi-brasiliano com malaquita (UTM 307106/9285854).	46
Foto 15: Granito tardi a pós-brasiliano de coloração rosada ao longo do Rio Jucá (UTM 311461/9293327). Foto 16: Fácies hidrotermalizada do granito tardi a pós-brasiliano. Afloramento às margens da BR-020, um pouco fora da área mapeada (UTM 315024/9294338).	47
Foto 17: Brecha da Formação Angico Torto com clastos de composições variadas, dominando fragmentos de rochas graníticas. (UTM 309643/9289400).	48
Foto 18: Afloramento na pedreira de rocha ornamental próximo a BR-020 (UTM 309643/9289400).	48
Foto 19: Intercalação de arenitos e folhelhos de coloração vinho avermelhado (UTM 311448/9292363).	49
Foto 20: Intercalações de arenito e folhelhos de coloração marrom chocolate sobrepostos por siltito cinza esverdeado (UTM 309470/9292708).	50
Foto 21: Intercalação de arenitos e folhelhos basculados (UTM 312017/9292367).	50
Foto 22: Estratificação espinha de peixe em arenito fino (UTM 309561/9288907).	51
Foto 23: Detalhe da estratificação espinha de peixe da foto anterior.	51
Foto 24: Estratificação hummocky? (UTM 312095/9292220).	52
Foto 25: Estratificação hummocky em arenito fino (mesmo afloramento da foto anterior). ...	52
Foto 26: Estratificação acanalada em arenito fino (UTM 312017/9292367).	53
Foto 27: Calcário Intercalado a arenito fino, siltitos e folhelhos em ambiente redutor.	53
Foto 28: Malaquita associada ao siltito da Formação Angico Torto (amostra de mão).	54

Foto 29: Conglomerado polimítico da Formação Melancia (UTM 310460/9286372).	55
Foto 30: Arenito conglomerático da Formação Jaicós com estratificação cruzada planar. Esse afloramento situa-se na localidade Baixão da Aroeira (UTM 284763/9304725).	55
Foto 31: Quartzito exibindo textura granoblástica. Luz polarizada.	56
Foto 32: Granodiorito gnaissificado exibindo uma foliação marcada pela a orientação da biotita e opacos que bordejam o feldspato potássico.Luz natural. Biotita Gnaisse exibindo uma foliação uma foliação marcada pela a orientação da biotita e opacos que bordejam o feldspato potássico. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.....	58
Foto 33: Biotita Gnaisse exibindo textura mirmerquítica. Luz polarizada.....	58
Foto 34: Micas fish alongadas, em forma de lentes, com eixo maior fazendo um pequeno ângulo com a foliação milonítica, indicando uma cinemática destal. (a) Luz Polarizada. (b) Luz natural.....	59
Foto 35: Sigmóides de plagiocásio de tendência destal, mostrando fendas extensionais preenchidas por muscovita. (a) Luz Polarizada. (b) Luz natural.....	59
Foto 36: Cristais de plagioclásio exibindo geminação polissintética paralela e inclusão de apatita. (a) Luz Polarizada e (b) Luz natural.	60
Foto 37: Agregados de clinopiroxênio associados a aglomerados de titanita. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.	61
Foto 38: Biotita Gnaisse de composição monzogranítica, com foliação milonítica anastomosada sublinhada por agregados microlamelares de biotita, associados à microcristais de opacos, contornando os porfiroclastos de feldspatos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natura. ...	62
Foto 39: Cristal de apatita envolvido por agregado lamelar de biotita associado a quartzo finamente recristalizado em ribbon.indicando a foliação milonítica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.....	62
Foto 40: Diorito com textura granonematoblástica com cristais de clorita e titanita levemente orientados. Notar que tal rocha é também deformada e que contém uma assembléia mineral retrometamórfica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.	63
Foto 41: Alkali feldspato granito com textura milonítica. (a) Luz polarizada e (b) luz natural. .	64
Foto 42: (a) Monzogranito milonitizado exibindo cristais de plagioclásio anédrico, quartzo recristalizado em subgrãos e microclina. (b) Monzogranito milonitizado exibindo um porfiroclasto de pertita bordado por opacos em meio a uma matriz composta por quartzo finamente recristalizado.	65
Foto 43: Metariolito com textura microporfirítica com fraturas preenchidas por opacos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.....	66
Foto 44: Microenclave com muscovita e clorita. Notar que se encontra levemente crenulado. Luz polarizada.	67
Foto 45: Traquito com agregados ripiformes de plagioclásio em meio a matriz rica em biotita muscovitizada e/ou cloritizada. Luz polarizada.	67
Foto 46: Cristal de clinopiroxênio intensamente alterado com inclusão de opacos. Luz polarizada.	67
Foto 47: Traquito com textura glomeroporfirítica e inclusão de apatita acicular em oligoclásio. Luz polarizada.	67
Foto 48: Granito exibindo foliação, com opacos disseminados em meio a matriz composta por agregados finamente recristalizados de quartzo, feldspato e biotita sublinhando a foliação milonítica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.	68

Foto 49: Granito milonitizado com porfiroclasto de feldspato potássico bordado por opacos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.....	68
Foto 50: Calcita e clorita em contato com cristais de microclina e plagioclásio. Luz polarizada.	69
Foto 51: Cristal de plagioclásio recortado por um veio constituído por quartzo e calcita. Luz polarizada.	69
Foto 52: Arenito muito fino cimentado por óxido/hidróxido de ferro. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.	70
Foto 53: Arenito fino com cristais de plagioclásio exibindo geminação polissintética e meio a uma matriz cimentada por óxido/hidróxido de ferro. Luz polarizada.	71
Foto 54: Arenito de granulação média a grossa da Formação Angico Torto com cristais de quartzo e plagioclásio de dimensões que chegam a 6,0mm.	71
Foto 55: Brecha conglomerática composta por fragmentos de rocha de diversos tamanhos, cortados por veios tardios de calcita e quartzo. (a) Fragmento de rocha granítica; (b) Fragmento de rocha vulcânica; (c) basalto cortado por veios de calcita e quartzo. Luz polarizada.	72
Foto 56: Cristais de piritas disseminadas no calcário.....	73
Foto 57: Pirita exibindo hábito fraboidal.	73
Foto 58: Granito pré a sin-brasiliano exibindo foliação Sn: 80/77SE. (UTM 311601/9293983).	75
Foto 59: Foliação milonítica do granito sin a tardi-brasiliano. Atitude 280/78SW. (UTM 316767/9281012).	75
Foto 60: Fotomicrografia do granitóide pré a sin-brasiliano exibindo textura protomilonítica e cristais de quartzo boudinados.	75
Foto 61: Intercalação de arenito e folhelho levemente dobrado da formação Angico Torto. (UTM 309621/9289798).	77
Foto 62: Álcali feldspato granito com fraturas sistemáticas de atitude 165/65NE (UTM 310802/9294637).	80
Foto 63: Arenito avermelhado da Formação Angico Torto com duas famílias de juntas. As juntas de direção 155°Az são sistemáticas e as juntas perpendiculares e obliquas não são sistemáticas.	80
Foto 64: Granito sin a tardi-brasiliano brechado e cloritizado.	82
Foto 65: Granito cloritizado. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.	83
Foto 66: Brecha granítica com clorita, calcita e fluotita. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural. ..	83
Foto 67: Brecha granítica com fluorita e calcita. (a) Luz polarizada. (b)Luz Natural.	83
Foto 68: Fragmento do granito cimentado por clorita. (a) Luz polarizada. (b)Luz Natural.	84
Foto 69: Granito hidrotermalizado com veios preenchidos por malaquita, clorita e opacos. ..	84
Foto 70: Cristais de pirita fraturada, parcialmente sendo substituída por goetita.	85
Foto 71: Cristal de pirita alterando para goetita.	85
Foto 72: Cristal de calcopirita em meio à massa silicática. Notar que a calcopirita está levemente orientada e oxidada.	85
Foto 73: Cristais supergênicos, produtos de alteração da calcopirita, representados por malaquita, calcocita e covelita. São em geral anédricos com tamanhos entre 0,14 e 1mm. Cristais exibem microfraturas e oxidação.	86
Foto 74: Brecha silicosa exibindo bandamento superficial.....	87
Foto 75: Brecha silicosa com malaquita.	87

Foto 76: Brecha silicosa com fragmentos de rocha cimentada por sílica e opaco, subordinado.	88
Foto 77: Brechas silicosas com veios preenchidos por hematita com bordas alterando para limonita. Ao redor tem-se malaquita.....	88
Foto 78: Brecha silicosa com veios de hematita oxidando nas bordas.....	89
Foto 79: Arenito da formação melancia brechado.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coordenadas em projeção UTM dos vértices da área de trabalho. DATUM: SAD – 69	21
Tabela 2: Gráfico (IBGE) da evolução populacional do município de Parambu em relação ao Estado e o País.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização e acesso à área do trabalho.....	22
Figura 2: Umburana, árvore típica da região.....	26
Figura 3: Compartimentação geomorfológica com base nas curvas de nível que evidenciam o relevo.....	27
Figura 4: Mapa do Brasil com a localização da Província Borborema (modificado de Almeida, 1981). Desprezar escala.....	29
Figura 5: Distribuição das Bacias de transição da Província Borborema com destaque da Bacia do Cococi (modificada de Parente et al. 2004).	29
Figura 6: Figura modificada de Parente et al., 2004 da seção esquemática das bacias da transição Proterozóico-Fanerozóico da porção norte da Província Borborema.....	35
Figura 7: Estereograma de contorno de polos das foliações, mostrando mergulhos elevados para SSW e NNE. As direções principais dos planos de foliação mostram direções para W-E e NW-SE. 68 medidas.....	76
Figura 8: Diagrama de roseta para direções principais do acamamento, mostrando direções preferências para NE-SW e secundariamente para E-W.	77
Figura 9: Diagrama de contorno do plano para o polo de acamamento, mostrando mergulho preferencial para SSE.....	78
Figura 10: Diagrama de roseta com os planos preferências de fraturas das rochas do embasamento.	79
Figura 11: Diagrama de roseta com os planos preferências das juntas na Bacia do Cococi com direções NE-SW e NW-SE.....	80

SUMÁRIO

Capítulo 1	19
Introdução	19
1.1 Considerações Iniciais.....	19
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivo.....	20
1.4 Localização e acesso	21
1.5 Materiais e métodos de trabalho.....	23
Capítulo 2	24
Aspectos Fisiográficos	24
2.1 Considerações Iniciais.....	24
2.2 Características ambientais	25
2.2.1 Aspectos Climáticos.....	25
2.2.2 Flora	25
2.2.3 Solo	26
2.2.4 Geomorfologia	26
2.2.5 Recursos Hídricos	27
CAPÍTULO 3	28
Geologia Regional.....	28
3.1. Província Borborema.....	28
3.1.2. Compartimentação Geotectônica da Província Borborema	30
3.2. Bacias do estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema (Figura 3.4).	33
3.2.1 Bacia Transtensiva do Cococi.....	36
3.2.1.1 Grupo Rio Jucá.....	36
Capítulo 4.....	38
Geologia Local.....	38
4.1 Embasamento Cristalino	38
4.1.1 Unidade Arneiroz	39
4.1.2 Suítes Intrusivas Brasileiras.....	39
4.2 Bacia Eo-Paleozóica do Cococi	47
4.2.1 Formação Angico Torto	47

4.2.2	Formação Cococi.....	54
4.2.3	Formação Melancia.....	54
4.3	Grupo Serra Grande.....	55
Capítulo 5.....		56
Petrografia.....		56
5.1	Unidade Arneiroz.....	56
5.1.1	Quartzito.....	56
5.2	Suíte Pré a Sin-Brasílianos.....	57
5.2.1	Granodiorito.....	57
5.2.2	Muscovita Granito Milonitizados.....	58
5.2.3	Clinopiroxênio Tonalito com Titanita.....	60
5.2.4	Granitoides Sin a Pré-Brasílianos (porção norte da área).....	61
5.2.6	Diques plutônicos.....	63
5.2.7	Diques vulcânicos.....	65
5.3	Suíte Sin a Tardi-Brasíliano (Neoproterozóico).....	67
5.3.1	Granitos.....	67
5.4	Suíte Tardi a Pós-Brasíliano.....	69
5.4.1	Quartzo sienito.....	69
5.5	Grupo Rio Jucá.....	70
5.5.1	Formação Angico Torto.....	70
Capítulo 6.....		74
Deformação e Metamorfismo.....		74
6.1	Estruturas Dúcteis.....	74
6.1.1	Foliação Sn (Zona de Cisalhamento).....	74
6.2	Acamamento.....	76
6.3	Metamorfismo.....	78
6.4	Estruturas Rúpteis.....	79
Capítulo 7.....		81
Geologia Econômica.....		81
7.1	Introdução.....	81
7.2	Caracterização da rocha hospedeira da mineralização.....	81
7.3	Modelo Genético.....	89
7.4	Algumas considerações.....	92
Capítulo 8.....		93

Evolução Geológica	93
Capítulo 9	95
Conclusões	95
Capítulo 10	97
Bibliografia	97

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações Iniciais

A Bacia eo-paleozóica do Cococi situada a sul da sede municipal de Parambu-CE é uma das feições do estágio de transição (Proterozóico para o Fanerozóico) da porção Setentrional da Província Borborema descrita por Almeida (1969). Essa bacia e regiões circunscritas apresentam um grande potencial metalogenético para cobre, o que atraem estudiosos e empresas mineradoras desde a década de 40. Hoje a prospecção de cobre continua a ser feita pelas empresas mineradoras, apesar da crise econômica mundial.

O presente trabalho tratou de individualizar novas unidades litoestratigráficas e procurou por novas ocorrências de cobre ao longo da bacia molássica do Cococi. No presente trabalho foram levantadas novas questões a respeito da evolução metalogenética da bacia, bem como no que diz respeito ao seu embasamento e o magmatismo neoproterozóico.

O que foi observado na área pesquisada se encontra organizado na forma de um Relatório de Graduação, uma das exigências da grade curricular para a conclusão do curso de Geologia do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará.

1.2 Justificativa

A Bacia do Cococi é tida como uma bacia molássica transtensiva eo-paleozóica e como outras bacias de características similares, a exemplo da Bacia de Carnaubinha localizada na região de Pio IX, existem importantes associações litológicas afetadas por hidrotermalismo acompanhadas de mineralizações de cobre. Essas mineralizações ou ocorrências de cobre são reconhecidas no mapa regional do Ceará na escala 1:500.000 da CPRM (2003).

O cobre, como qualquer outro metal, tem uma grande importância no desenvolvimento econômico de expressão regional como mundial. Foi um dos primeiros metais a ser utilizado na fabricação de objetos metálicos apesar de ser pouco abundante na crosta terrestre. Essas evidências são relatadas na Bíblia, em livros do antigo e novo testamento (Êxodo 25:3; Jó 28:2; Mateus 10:9).

Atualmente, o cobre é um metal largamente utilizado nos setores de energia por ser um bom condutor de eletricidade, e na construção civil. Apesar da crise atual dos países da comunidade européia, o cobre se valorizou 60% desde junho de 2010. E foi durante o ano de 2011 que o cobre atingiu pela primeira vez o valor de US\$ 10 mil por tonelada, com expectativas de que em 2012 atinja US\$ 12 mil por tonelada, em um cenário de demanda sólida pelos países emergentes.

Portanto, o mapeamento de detalhe da área escolhida para o desenvolvimento da presente pesquisa é de suma importância, tendo em vista que a ela poderá se tornar parte de uma província cuprífera. O conhecimento mais detalhado da área em questão dará maiores informações sobre a geologia e a metalogenia da região onde ela se insere.

1.3 Objetivo

A primícia desse trabalho é realizar um mapeamento geológico na escala de 1:25000, em uma área de 100 Km², na porção oeste da Bacia do Cococi, Parambu-CE, dando ênfase às mineralizações de cobre anteriormente identificadas por outros autores (Parente et al., 2004 e Machado, 2006).

O trabalho tem como objetivos:

- ✓ Definir e separar as unidades litoestratigráficas identificadas na área e estabelecer as relações de contatos entre elas;
- ✓ Descrever seções delgadas e polidas dos diversos litotipos mapeados;
- ✓ Identificar e descrever os litotipos associados às ocorrências minerais de cobre, bem como o mineral minério;
- ✓ Identificar os possíveis controles estruturais dessas ocorrências;
- ✓ Sugerir um modelo genético para a formação dessa ocorrência;

- ✓ Elaborar um mapa geológico, através de dados de campos e análise de imagens de satélites (Landsat 5 e 7, SRTM e CBERS) e gamaespectrométria;
- ✓ Produzir o presente Relatório de Graduação com os resultados obtidos.

1.4 Localização e acesso

A área do trabalho (Fig.1) está localizada na porção sudoeste do estado do Ceará, ocupando parte do antigo Distrito de Cococi. Compreende um polígono retangular de 100 km², cujos vértices limítrofes estão na tabela 1.1 abaixo:

Tabela 1: Coordenadas em projeção UTM dos vértices da área de trabalho. DATUM: SAD - 69		
VÉRTICES	COORDENADAS UTM (M)	
	LATITUDE	LONGITUDE
V1	305200	9294800
V2	312300	9294800
V3	312300	9280800
V4	305200	9280800

Seu acesso é feito a partir da cidade de Fortaleza pela rodovia federal BR-020, em um percurso de aproximadamente 406 km. Pode-se também fazê-lo a partir da sede de Parambu, percorrendo 32 km em direção a sul, pela BR-020.

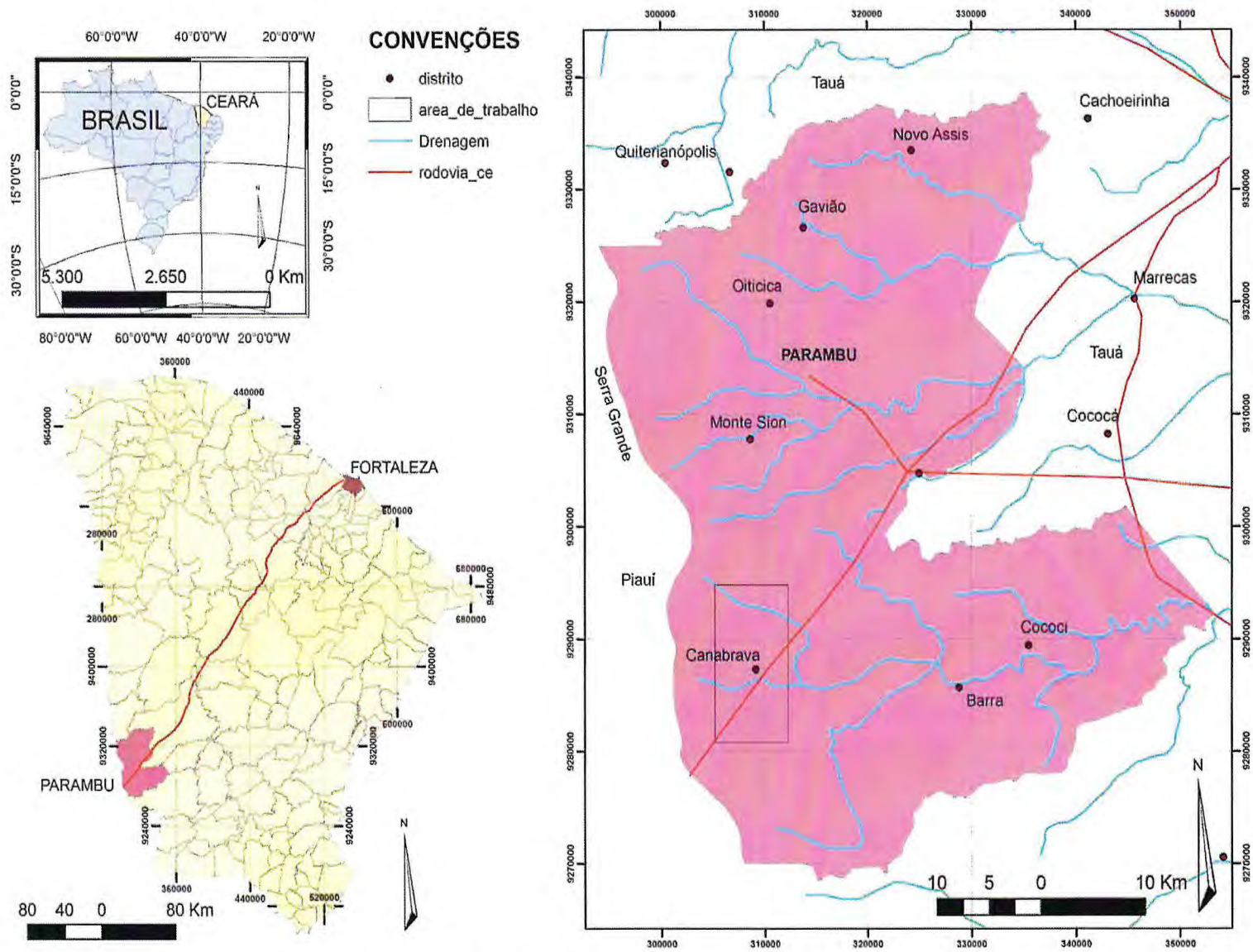


Figura 1: Mapa de localização e acesso à área do trabalho.

1.5 Materiais e métodos de trabalho

A execução deste trabalho ocorreu em quatro etapas, assim denominadas: Preliminar, de campo, de laboratório e final.

- Etapa Preliminar
 - Pesquisa bibliográfica de todo o material publicado sobre a área e assuntos relacionados.
 - Obtenção de imagens de satélite (Landsat 7, 5 e CBERS), radar (SRTM) e geofísica (gamaespectrométrica) para interpretação geológica da região e a elaboração de mapas.
 - Utilização de mapas da SUDENE, em escala 1:100.000, para elaboração de uma base planialtimétrica mais detalhada.
 - Preparação do cronograma de atividades e tabelas de custos referentes aos trabalhos de campo.
- Etapa de Campo
 - Foram realizadas quatro etapas de campo com duração de seis dias cada uma. Isso envolveu o mapeamento geológico por meio de perfis perpendiculares ao *trend* estrutural previamente observado em imagens de satélite e radar. Nesta fase foram feitas as descrições de afloramentos, definidas as relações de contato entre as diversas unidades, e a coleta de amostras para análises petrográficas.
- Etapa de laboratório
 - Processamento das informações coletadas no campo por programas Excel e ArcGis 9.3;
 - Estudo petrográfico de lâminas delgadas e polidas para a identificação das associações minerais de cada litotipo, bem como os processos hidrotermais atuantes.
- Etapa Final
 - Processamento e integração das informações de campo e de laboratório para a confecção do presente mapa geológico e Relatório de Graduação.

Capítulo 2

Aspectos Fisiográficos

2.1 Considerações Iniciais

A área estudada está inserida na região conhecida como Polígono das Secas tipo BSwH, de acordo com a classificação de Köppen, mais precisamente localizada, no Município de Parambu, porção SW do Estado Ceará. Parambu, palavra de origem tupi que significa cachoeira pequena, é limitado a norte por Quiterianópolis, Aiuaba, a sul, Arneiroz a leste e a oeste pelo estado do Piauí.

O município possui um território de 2.303,40 km² cuja altitude média é 478 m. Sua população chega a 31.309 habitantes (Fig. 2.1).

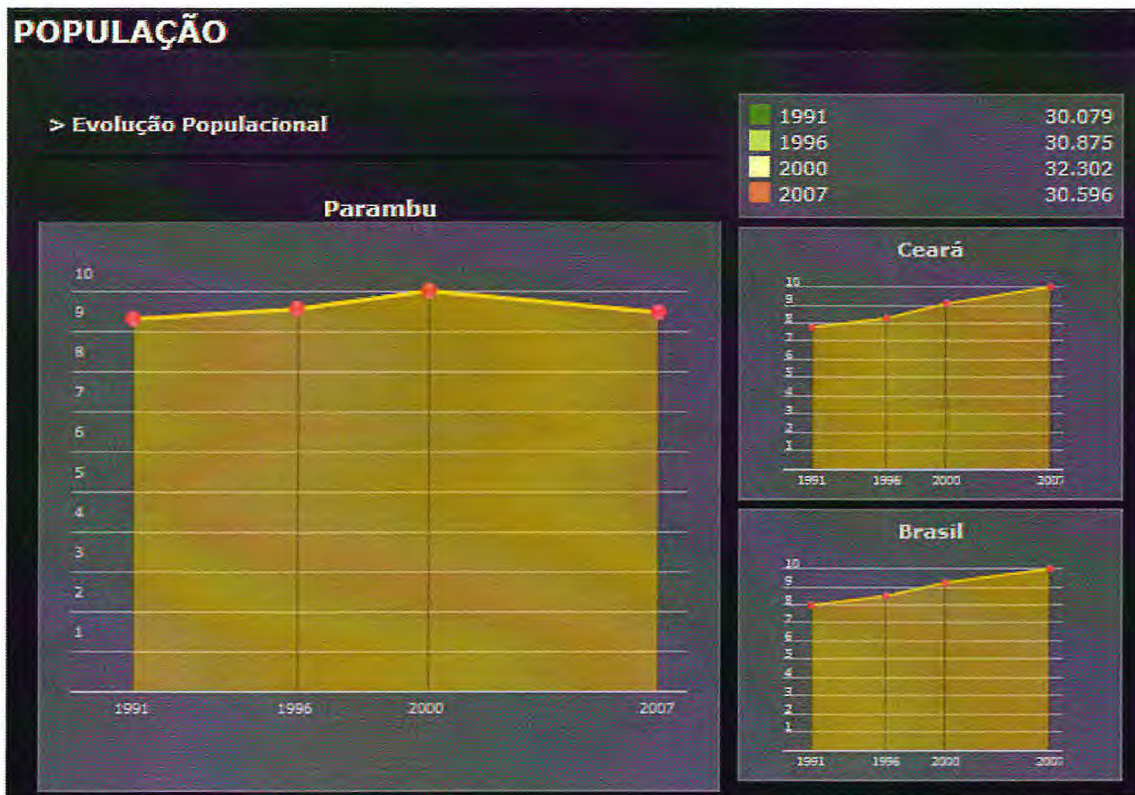


Tabela 2: Gráfico (IBGE) da evolução populacional do município de Parambu em relação ao Estado e o País.

2.2 Características ambientais

2.2.1 Aspectos Climáticos

A região de Parambu e adjacências é marcada por clima semi-árido e intensa insolação ou forte radiação solar, com temperatura oscilando entre 24 e 38°C, tendo temperatura média anual, normalmente superior a 29°C.

Como boa parte do Nordeste, o município de Parambu possui duas estações principais: a chuvosa que se estende de fevereiro a abril e o período da seca, que corresponde ao verão, compreendendo os demais meses do ano.

A pluviosidade é, portanto irregular, entretanto, em período de boas chuvas, restrito aos meses de janeiro a maio, a média é de 600 mm (FUNCEME/IPECE). Normalmente é inferior a isso, de modo que a região possui *déficit* hídrico.

2.2.2 Flora

A vegetação dominante na área é do tipo caatinga arbórea ou caducifólia espinhosa que se desenvolve em terrenos relativamente secos, pedregoso e solo pouco expeço. As espécies mais comuns são: o juazeiro (*Zizyphus joazeiro*), angico (*Anadenanthera macrocarpa*), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), mandacaru (*Cereus jamacaru*), marmeleiro (*Croton sonderianus*) e aroeira (*Myracroduon urundeuva*), oiticica (*Licania rigida*), umburana (Fig. 2.2) (*Bursera leptophlaveos*), jucá (*Caesalpinia ferrea cearense*) e umbuzeiro (*Spondias tuberosa*) (site da CPRM).



Figura 2: Umburana, árvore típica da região.

2.2.3 Solo

A tipologia do solo é predominantemente neossolos-quartzarenos provenientes do intemperismo das rochas do Grupo Serra Grande (bacia do Parnaíba). Existem influências dos terrenos cristalinos embasamento da bacia provendo neossolos, devido ao intemperismo físico-químico atuante. No entanto, no centro da bacia, encontra-se latossolo vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo resultado de um intemperismo atuante de rochas sedimentares areníticas e arcoseanas, com alto teor de potássio.

2.2.4 Geomorfologia

É possível identificar duas superfícies geomórficas distintas, são elas: os Planaltos tabulares da Bacia do Parnaíba e a Depressão Sertaneja (Sousa, 1988).

Os Planaltos tabulares são estruturados em rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, com estruturas horizontalizadas a sub-horizontalizadas e altitudes variando entre 580 e 800m, localizando-se a oeste e noroeste da área estudada, com relevo de cuestas situado nas bordas da bacia, na transição dos terrenos planálticos para a depressão periférica (Fig.2.3).

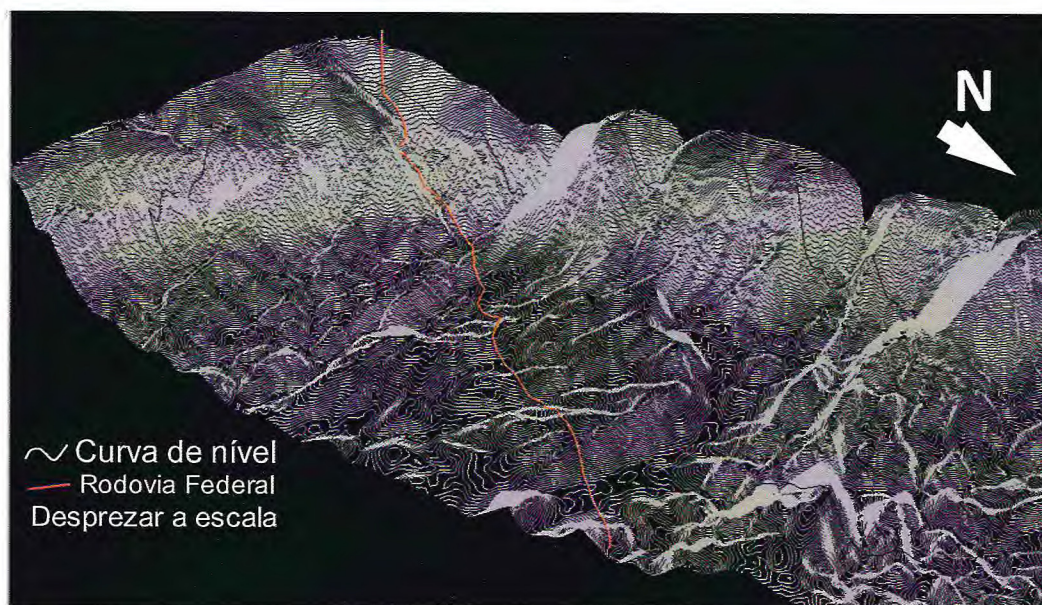


Figura 3: Compartimentação geomorfológica com base nas curvas de nível que evidenciam o relevo.

A Depressão Sertaneja é representada por extensos pediplanos que ocupam a maior porção da área de trabalho, bem como o território cearense, com relevo suave ondulado apresentando cotas entre 450 e 500m, onde se destacam cristas localizadas, desenvolvidas, particularmente, a sul da área estudada, em rochas quartzíticas do embasamento (Sousa, 1988). A Bacia do Cococi se desenvolve no interior desta unidade geomórfica, ocupando depressão local, configurando região rebaixada entre as associações litológicas pré-cambrianas, encontrando-se encoberta parcialmente a oeste, pelas rochas sedimentares do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba.

2.2.5 Recursos Hídricos

O principal rio da bacia é conhecido popularmente como Rio Jucá que tem como afluentes importantes o Riacho Cana Brava e o Riacho Puiu, todos com fluxo de direção para leste.

Os poços artesanais são frequentemente utilizados, no entanto, são as cacimbas residenciais abastecidas por caminhões pipas que assumem o primeiro lugar em aproveitamento d'água para beber e tomar banho.

Açudes são comuns e bem distribuídos por todo município e são eles que abastecem boa parte dos distritos do município de Parambu.

CAPÍTULO 3

Geologia Regional

3.1. Província Borborema

É parte integrante da porção Nordeste da Plataforma Sul-Americana a Província Borborema (Ameilda et al., 1977), sendo definida por Brito Neves, B. B. ; Santos, E. J. ; Schmus, W. R. V., 2000 como um complexo mosaico de blocos crustais representados por terrenos arqueanos e proterozóicos gerados e ou retrabalhados em diversos ciclos e/ou eventos tectônicos – termais (3,4 -3,2 Ga- Ciclo Guriense; 2.7 Ga- Ciclo Jequié; 2,1 – 1,8 Ga –Ciclo Transamazônico; 1,0-0,95 Ga –Orogênese Cariris Velho; 0,7-0,55 Ga -Ciclo Brasileiro), cujo crescimento crustal juntou vários domínios tectônicos (Setentrional, Transversal e Meridional).

Tem como limites tectônicos, a norte e a leste pela Província Costeira, a sul pelo Cráton do São Francisco e a oeste pela Província Parnaíba (Fig. 3.1) (Almeida et al., 1977). Sua evolução está intimamente ligada à convergência e aglutinação de crátons do Oeste Africano, Amazônico e São Francisco – Congo – Kasai durante a formação da porção ocidental do supercontinente Gondwana (Trompette, 1997). Possui uma extensão territorial de 400.000 Km², cobrindo o norte da Bahia e sudeste do Piauí até o nordeste do Ceará correspondendo quase que todo o substrato da região nordeste do Brasil (Brito Neves et al. 2000).

Sua configuração atual está associada aos importantes fenômenos tectono-termiais neoproterozóicos desencadeados durante o Ciclo Brasileiro (0.7 – 0.5 Ga). No final da orogenia Brasileira se formaram as bacias do tipo rifte e/ou *pull-apart* controladas pela atividade tardia das transcorrências relacionadas ao colapso do orógeno Brasileiro, (Parente et al., 2004) (Fig. 3.2). Dentre essas bacias destaca-se a Bacia do Cococi, que envolve a maior parte da área estudada neste trabalho.

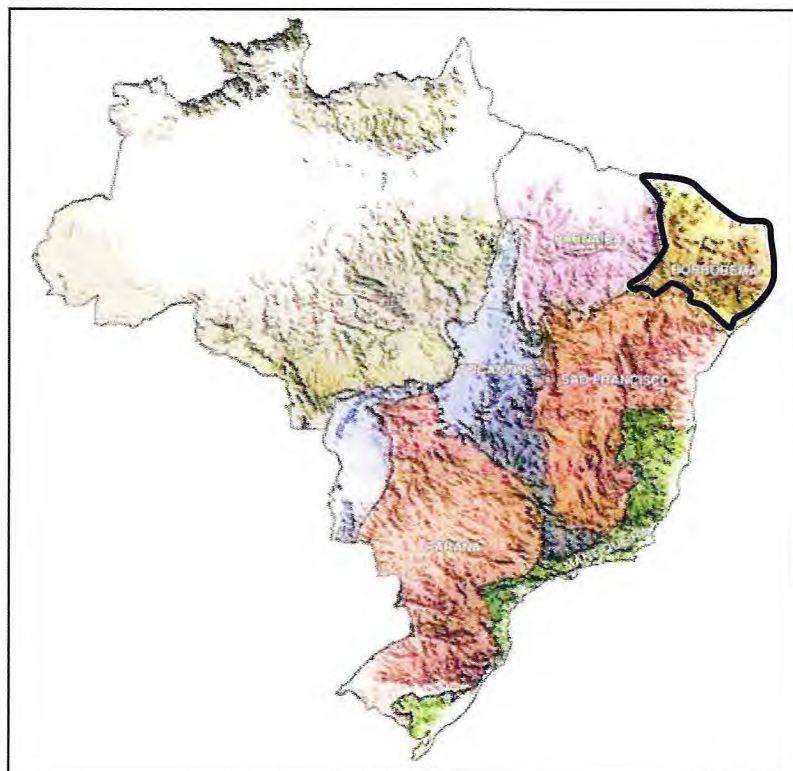


Figura 4: Mapa do Brasil com a localização da Província Borborema (modificado de Almeida, 1981). Desprezar escala.

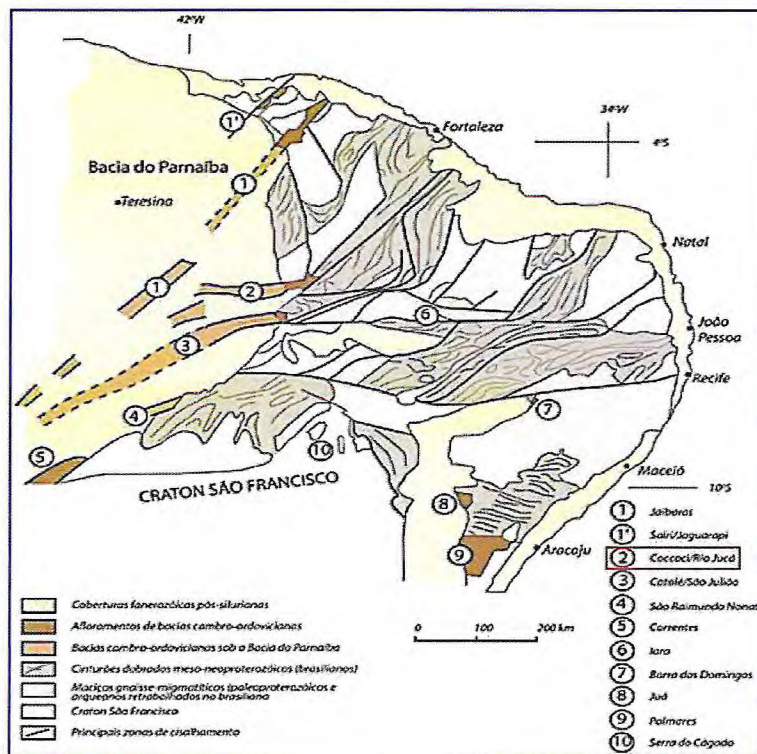


Figura 5: Distribuição das Bacias de transição da Província Borborema com destaque da Bacia do Cococi (modificada de Parente et al. 2004).

3.1.2. Compartimentação Geotectônica da Província Borborema

Brito Neves e Santos (1984) propuseram dividir a província Borborema em três sub-províncias limitadas por zonas de cisalhamento brasileiras (Lineamento Patos e Pernambuco), são elas: Sub-províncias Setentrional, Zona Transversal e Meridional. Vários autores (Fetter et al., 2000; Parente e Arthaud 1995; dentre outros) contribuíram para um melhor entendimento e refinamento da geologia da Província Borborema (Fig.3.3).

Entretanto, Brito Neves (2000) distinguiu cinco domínios tectônicos maiores na Província Borborema definidos como:

3.1.2.1 Domínio Médio Coreau: Situa-se na região NW do Ceará limitado a sul, pela zona de cisalhamento Sobral Pedro II, a noroeste pelo cráton São Luiz e a leste é encoberto pelas bacias marginais ou costeiras. Consiste em um terreno de rochas metamórficas de alto grau do Paleoproterozóico constituído por ortognaisses de composição TTG, granulitos ortoderivados e paraderivados e migmatitos, ambos os litotipos representando o embasamento da região; a Faixa Martinópole – Ubajara, correspondendo às seqüências de margem continental passiva. Sobre essa faixa se formaram pequenos riftes ao longo das zonas de cisalhamento Brasileiras, dando origem as bacias extensionais ou de escape eo-cambrianas ou cambro-ordovicianas (Brito Neves, 1999).

3.1.2.2 Domínio Ceará Central: Encontra-se situado entre a zona de cisalhamento Sobral Pedro II, a noroeste, e o domínio Orós-Jaguaribe a leste, sendo limitado por este pelas zonas de Cisalhamento Orós e Aiuaba (Parente e Arthaud et al., 1995). Consiste de terrenos de idade paleoproterozóico com núcleo arqueano os quais correspondem ao embasamento gnáissico das seqüências supracrustais do Neoproterozóico médio, cujo conjunto é intrudido por um plutonismo brasileiro bastante expressivo. São reconhecidos quatro grandes grupos litológicos: Sequência metapsamo-pelítica-carbonáticas do Meso-Neoproterozóico compreendidas pelo Grupo Ceará, Grupo Itataia, e Complexo Independência; Terreno Acrescionário Santa Quitéria do Neoproterozóico, constituído por rochas gnáissicas e migmatíticas de composição tonalítica a granodiorítica; Terrenos acrescionários do Paleoproterozóico, constituídos por ortognaisses quartzo dioríticos a tonalítico-graníticos, agrupados sob a denominação Suíte Madalena, e rochas supracrustais representadas por anfíbolitos derivados de

basaltos, gnaisses leucocráticos, metagrauvas, quartzitos, metaconglomerados, formações ferríferas bandadas e sheets de rochas meta-ultramáficas, representados pela Unidade Algodões-Choró; Núcleo arqueano representado pelos complexos Mombaça e Cruzeta, constituídos por gnaisses migmatíticos de composição tonalítica e/ou granodiorítica.

3.1.2.3. Domínio Rio Grande do Norte: É localizado entre o lineamento Senador Pompeu, a oeste, pelo lineamento Patos, a sul e pelo Oceano Atlântico a nordeste. É compartimentado em subdomínios que foram amalgamados durante o Paleoproterozóico com inclusões de núcleos meso a neoarqueanos que correspondem ao embasamento (Terreno São José do Campestre) associado com supracrustais constituído pela faixa Orós-Jaguaribe do Paleoproterozóico e Seridó do Neoproterozóico. Uma forte tectônica de escape atuou nesse domínio juntamente com um expressivo plutonismo brasileiro.

3.1.2.4. Domínio Central ou Zona Transversal: É limitado pelos lineamentos Patos, a norte, e o lineamento Pernambuco, a sul. Este terreno é caracterizado por um retrabalhamento estrutural constituído por zonas de cisalhamento destrais e sinestrais de direções E-W e/ou NE-SW. Durante os eventos orogênicos Cariris-Velhos do Neoproterozóico inferior e por vários blocos internos limitados por falhas que foram basculados e deformados durante o brasileiro. Os principais subdomínios são os cinturões dobrados Pajeú-Paraíba e Piancó-Alto Brígida (Brito Neves, 2000).

3.1.2.5. Domínio Sul: Este domínio situa-se entre o lineamento Pernambuco e o cráton São Francisco. É representado pelos terrenos mesoproterozóicos Pernambuco-Alagoas, Paulistana-Monte Orebe e Canindé-Marancó, e pelas faixas neoproterozóicas Riacho do Pontal e Sergipana. Segundo Brito Neves et al., 2000 o principal elemento deste domínio é o maciço Pernambuco-Alagoas, que consiste de um embasamento granito-migmatítico com numerosos plútons.

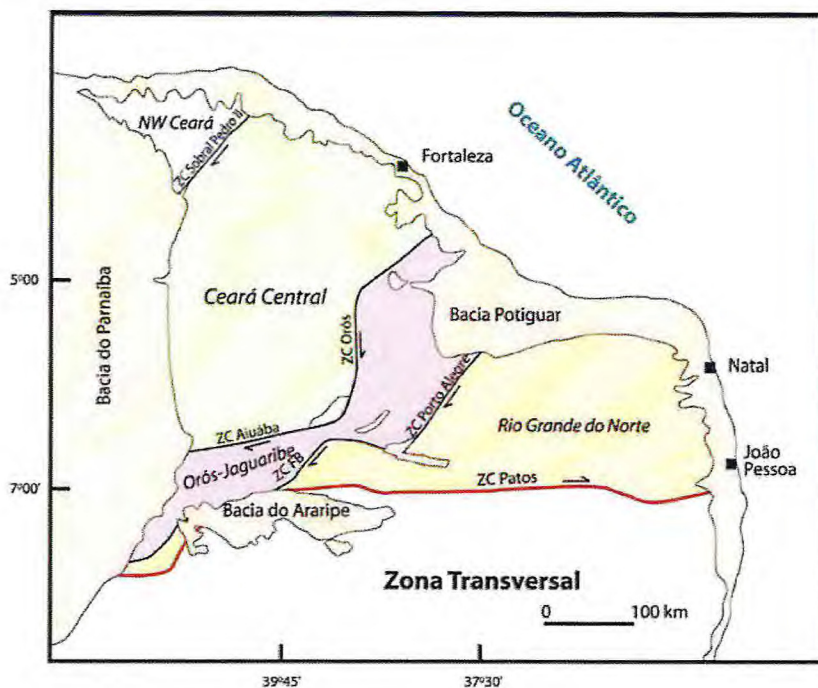


Figura 3.3: Domínios que constituem a porção Norte da Província Borborema (modificado e baseado de Cavalcante, 1999, modificado e simplificado).

3.1.3. Suítes Intrusivas Brasileanas

Correspondem às expressivas granitogêneses neoproterozóicas associadas ao ciclo Brasileiro dispersos amplamente em toda a Província Borborema e aos vulcanismos nas sequências sedimentares no final do ciclo.

Santos e Medeiros (1998, *in* Brito Neves, 2000) em função da diversidade composicional do magmatismo granítico da Província Borborema definiram três supersuítes:

- **Supersuíte I:** Correspondem aos granitos cedo a sin-tectônicos associados aos eventos contracionais evoluindo para um evento de caráter transtensional, caracterizando uma suíte híbrida. Dados isotópicos Rb/Sr e U/Pb sugerem idades entre 644-620 Ma.
- **Supersuíte II:** Correspondem a suítes que resultam de magmas mantélicos enriquecidos por um metassomatismo. Abrange as rochas intrusivas sin e pós-tectônicas que percolam por grandes discontinuidades de estruturas crustais

profundas. Dados isotópicos de U/Pb em zircões zircões indicam idades em torno 588 Ma e modelos Nd variam entre 2,2 a 2,0 Ga.

- **Supersuíte III:** Correspondem aos granitos pós-tectônicos, cujos magmas dessa suíte estão representados por pequenos batólitos, diques e vulcânicas associadas à falhamentos de grande expressão, associadas a fase de soerguimento pós-fechamento e colapso de estruturas orogênicas. Dados isotópicos de U/Pb e Rb/Sr sugerem idades em torno 532 Ma.

3.2. Bacias do estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema (Figura 3.4).

As Bacias do estágio de Transição (Almeida, 1969) são conhecidas como bacias molássicas que se formaram na transição do Proterozóico para o Fanerozóico ao término do ciclo orogênico Brasileiro. As principais bacias relacionadas ao Domínio Setentrional da Província Borborema são encontradas preservadas em riftes e/ou estruturas do tipo *pull apart*, com eixos maiores segundo um *trend* NE-SW e E-W, controladas por zonas de cisalhamento transcorrentes, são elas: bacia do Jaibaras, Cococi (que se encontra na área estudada), Sairi, Catolé, e Iara (Parente et al., 2004) . Tais bacias possuem características estruturais, geométricas e litológicas bem semelhantes.

São bacias que possuem de maneira geral uma sedimentação com fácies rudíticas basais/proximais, gradando para arenitos e pelitos em direção ao topo/distais. Costa et al; Oliveira et al; Parente; Sousa & Sabadia; Parente et al (1973, 1973, 1984, 1988, 1990 *in* Parente et al., 2004) reconheceram que essas bacias eo-paleozóicas caracterizam-se pelo extensivo truncamento erosivo das unidades subjacentes e pela presença de clastos litificados dos sedimentos sotopostos nos depósitos sobrejacentes.

A associação magmática nessas bacias é manifestada por enxames de diques escalonados de rochas subvulcânicas, representadas por basaltos, quartzo-diorito, dacitos, riódacitos e riólitos pórfiros nas bordas das bacias (Almeida, 1998). O magmatismo no interior dessas bacias é denominado de rochas extrusivas, bimodal e de ambiente continental, que se associam e/ou recortam as sequências sedimentares, em

diferentes porções estratigráficas (Parente *et al.*, 2004). Em particular, Almeida *et al.*, 2004 relatam que os corpos intrusivos da Bacia do Cococi são representados por apófises de pegmatitos gráficos de tamanhos e espessura reduzidas que recorta pelitos, localizados próximo a borda sul.

Quanto à evolução tectônica dessas bacias, vários autores propõem diversos modelos evolutivos, são eles: Grábens preenchidos por molassas (Kegel *et al.*, 1958; Costa *et al.*, 1973; Costa *et al.*, 1979; Brito Neves, 1975; Nascimento & Gava, 1979; Melo, 1978; Cavalcante *et al.*, 1983; Brito Neves *et al.*, 1984); bacias intermontanas preenchidas por sedimentos molássicos (Almeida, 1967; 1969; Danni, 1972; Mabesoone *et al.*, 1981); grábens preenchidos por seqüências vulcano-sedimentares (Parente & Fuck 1987; Quadros *et al.*, 1994; Quadros & Abreu, 1995); bacias *pull-apart* ou *rombo-graben* (Gorayeb *et al.*, 1988; Abreu *et al.*, 1988; Parente *et al.*, 1990; Vasconcelos *et al.*, 1998), bacias de extrusão (Brito Neves, 1998; 2002); rifte ativado (Oliveira 2000; 2001; Oliveira & Mohriak, 2003). Todos os autores supracitados *in* Parente *et al.*, 2004.

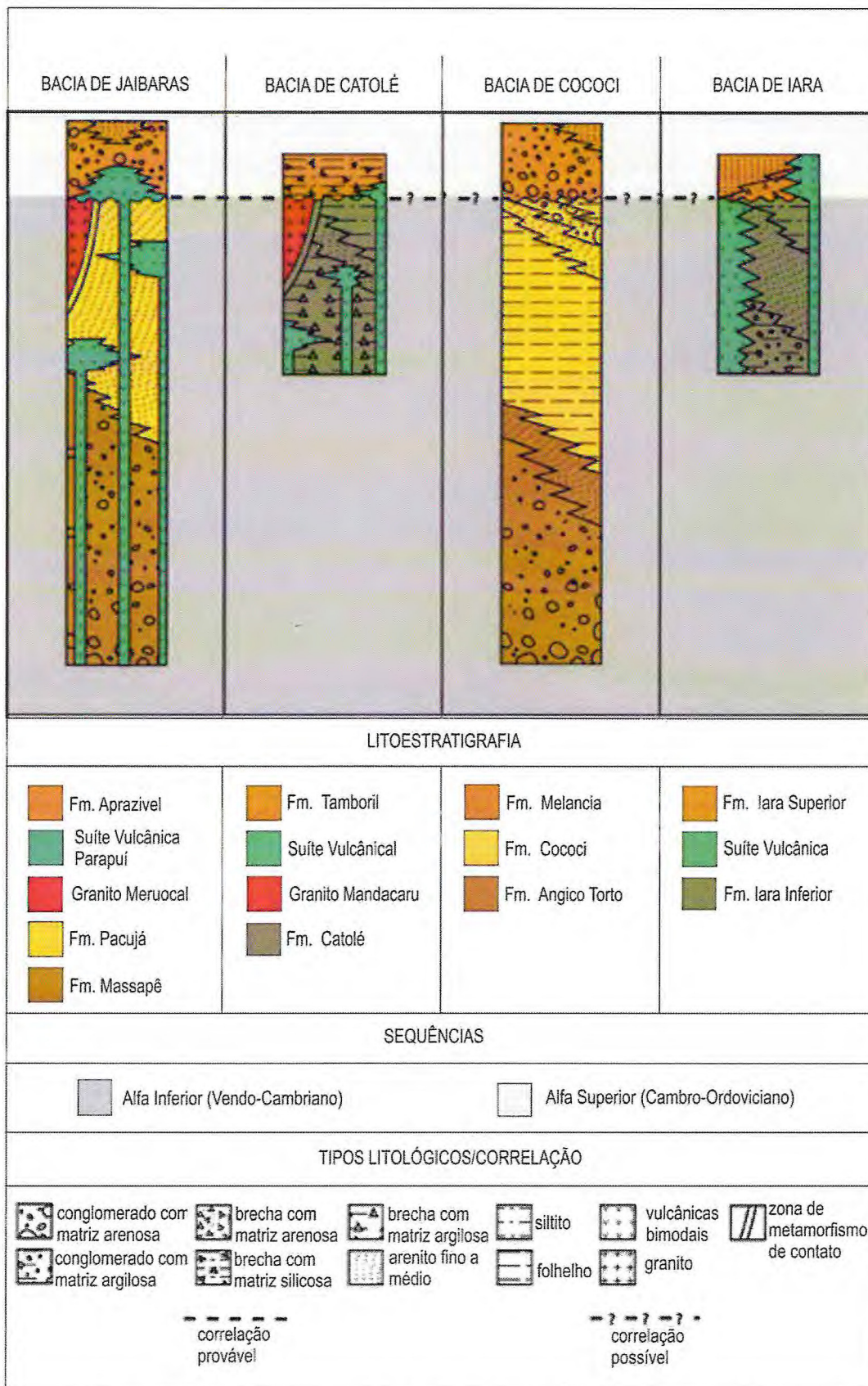


Figura 6: Figura modificada de Parente et al., 2004 da seção esquemática das bacias da transição Proterozóico-Fanerozóico da porção norte da Província Borborema.

3.2.1 Bacia Transtensiva do Cococi

Moraes et al., 1963 foram os primeiros autores a fazerem alusão sobre a Bacia de Cococi no entanto, foram Oliveira et al (1983 *in* Parente et al., 2004) que denominaram a sequência sedimentar da Bacia de Cococi de Formação Rio Jucá, dividindo-a da base para o topo nas fácies Arcósio, Folhelhos e Conglomerados. No mesmo ano Cavalcante *et al.*, denominaram a sequência sedimentar da bacia de Grupo subdividindo-a da base para o topo nas formações Angico Torto (fácies Arcósio), Cococi (Folhelhos) e Melancia (Conglomerados).

A abertura da bacia do Cococi é resultante da confluência das zonas de cisalhamento Tauá e Senador Pompeu. Parente et al., 2004 sugerem que em todas as bacias transtensivas do Nordeste, por não haver sedimentos silurianos, o encerramento da deposição ocorreu por volta de 440 Ma, quando iniciou-se a sedimentação da bacia do Parnaíba que por ventura a cobriu. Associado à sedimentação ocorreram vulcanismos em meados de 560 Ma estendendo-se possivelmente até o Cambriano-Ordoviciano (Parente et al., 2004).

3.2.1.1 Grupo Rio Jucá

- **Formação Angico Torto ou Riacho Torto (Vendo-Cambriano)**

A Formação Angico Torto (Oliveira *et al.*, 1974) corresponde à formação basal do Grupo Rio Jucá composta por conglomerados e brechas polimíticas, cujos clastos do arcabouço compreendem granitos, riolitos, gnaisses, milonitos, cristais de feldspato e quartzo de dimensões que variam de seixo a matacão, sustentada por uma matriz arenítica mal selecionada de cor avermelhada. As camadas conglomeráticas possuem espessura de até 1 m e, em geral, apresentam-se desorganizadas, algumas com gradação normal incipiente e clastos com eixos paralelos ao limite das camadas. No topo podem ocorrer camadas centimétricas de arenitos grossos com estratificação plano-paralela à cruzada tabular.

Na porção superior da formação Angico Torto encontra-se arenitos médios a finos, arcoseanos e micáceos intercalados com folhelhos. Os arenitos dessa formação ainda apresentam estruturas sigmoidais amalgamados com feições de fluidização. O topo da formação é constituído por arenitos conglomeráticos e camadas arenito de granulação grossa com gradação normal e estratificação planar. Apresentam intraclastos

argilosos junto ao contato erosivo basal, seguidos de laminações cruzadas e estratos cruzados planares de baixo ângulo. No topo, podem ser capeados por arenitos conglomeráticos em camadas com gradação normal e estratificações cruzadas planares. As fácies arenosas gradam para as associações heterolíticas da Formação Cococi.

- **Formação Cococi**

A Formação Cococi é representada por pelitos com estratificação plano-parallel e arenitos de espessura centimétrica e geometria tabular, com ou sem estratificação plano-parallel.

- **Formação Melancia (Cambro-Ordoviciano)**

Oliveira *et al.* (1974, in Parente *et al.*, 2004) relatam que os ruditos da Formação Melancias têm sua superfície basal marcada por uma discordância erosiva, acima da qual se depositaram conglomerados e brechas sustentadas pelo arcabouço, com predominância de seixos de quartzo e das rochas sedimentares subjacentes, em meio a uma matriz arenosa. No topo, podem ocorrer intercalações de arenitos finos, siltitos e até mesmo termos mais pelíticos (Vasconcelos *et al.* (1998, in Parente *et al.*, 2004).

Capítulo 4

Geologia Local

A área do presente trabalho compreende uma faixa retangular situada a oeste da bacia do Cococi, cujos vértices se encontram estabelecidos no capítulo anterior. Na área afloram parte das unidades litoestratigráficas da Unidade Arneiroz, Granitos Brasileiros, Grupo Rio Jucá e do Grupo Serra Grande. Em face de este trabalho ter sido realizado em escala de maior detalhe que outros realizados anteriormente, e levando em consideração o mapeamento geológico aqui efetuado, foi possível compartimentar melhor algumas das unidades anteriormente citadas.

4.1 Embasamento Cristalino

O Embasamento Cristalino da Bacia do Cococi é constituído por litotipos do Complexo Ceará, que segundo esses autores é constituído por quatro Unidades: Arneiroz, Quixeramobim, Canindé e Independência (Cavalcante et al, 2003). Este Complexo foi rebatizado de Grupo Ceará por Arthaud et al., 2007, na região de Madalena-CE, e ali definido como uma sequência plataformal de margem passiva que começou a se depositar há 800 Ma quando do rifteamento de um embasamento arqueano/paleoproterozóico. Cavalcante et al., 2003, relatam ainda no Complexo Ceará a presença de corpos estratóides e diqueiformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e em parte facoidais.

O mapeamento executado na presente pesquisa sugere que o embasamento da Bacia do Cococi, ao contrário do sugerido por Cavalcante et al., 2003, que o coloca no Complexo Ceará, é constituído por granitóides brasileiros gnaissificados e milonitizados, e quartzitos da Unidade Arneiroz do Complexo Ceará, em sua porção sul.

4.1.1 Unidade Arneiroz

- **Quartzito**

Esse litotipo é representado por uma faixa alongada orientada na direção NW-SE. Constitui-se basicamente de muscovita quartzitos com ou sem granada, de coloração cinza avermelhada, por vezes branco gelo. Este litotipo se encontra cisalhado com mergulhos sub-verticalizados a verticalizados (Foto 1 e 2). Ele aflora a sul da área às margens da BR-020, em paredões de até 10 metros de altura.



Foto 1: Afloramento de Quartzito da Unidade Arneiroz, às margens da BR-020, orientado segundo o trend regional 105/80°NE (UTM 306572/9283062). Foto 2: Detalhe da foto anterior mostrando o Grupo Serra Grande cobrindo o Quartzito.

4.1.2 Suítes Intrusivas Brasileanas

Segundo Machado, 2006, a granitogênese brasileira nas intermediações noroeste da Bacia do Cococi é caracterizada por granitos sin- a pós-tectônicos, cuja filiação química é eminentemente cálcio-alcálica e cujo arranjo foi controlado por esforços compressivos e transtensivos. Gomes et al., (1981, in Machado, 2006) obtiveram idades Rb-Sr de 650 Ma (Neoproterozoico) para granitóides sin-colisionais em relação a orogénia brasileira. Fetter, (1990 in Arthaud, 2007) propõe idade de ca. 530 Ma para os granitos pós-orogénicos associados às molassas tardi-brasileanas.

- **Suíte Pré a Sin-Brasíliana**

Esses granitoides afloram em lajedos de dimensões métricas. Estão gnaissificados, milonitizados, com presença de muita biotita e muscovita. Possuem coloração cinza escuro, granulação média, com porfiroclastos de feldspatos servindo como indicador cinemático destal, podendo ocorrer sigmóides sinistrais em menor proporção (Foto 3). Sua foliação tem mergulhos de 80° a 90° e segue o trend estrutural regional NW-SE. Ocorrem comumente na porção sul da área no contato com o quartzito da Unidade Arneiroz e o granito sin à tarde-brasíliano.

Ocorrem também em contato com o quartzito, tonalitos gnaissificados com titanita, possuem coloração cinza claro, com granulação média a grossa e bandamento composicional incipiente (Foto 4).

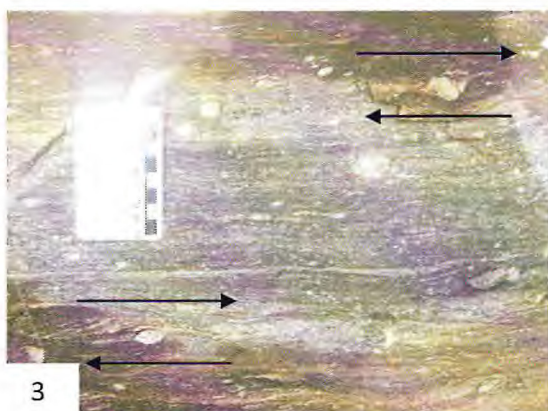


Foto 3: Granodiorito milonitizado exibindo sigmóides destrais. Foto 4: Amostra de mão do clinopiroxênio tonalito com titanita exibindo uma foliação incipiente.

Na porção norte da área, esses litotipos são granitos e monzogranitos (Foto 5). Possuem granulação fina a média, apresentam como minerais essenciais quartzo, feldspatos, biotita, e os acessórios clorita, muscovita e granada (Foto 6 e 7). A coloração varia de cinza escuro a um cinza rosado meio esverdeado devido a cloritização. A foliação tem a direção NE-SW. O mergulho da foliação milonítica varia em torno de 55°, chegando a 90° nas proximidades de uma zona de cisalhamento transcorrente onde se encontra intrudido o quartzito sienito da suíte tarde a pós-brasíliana.

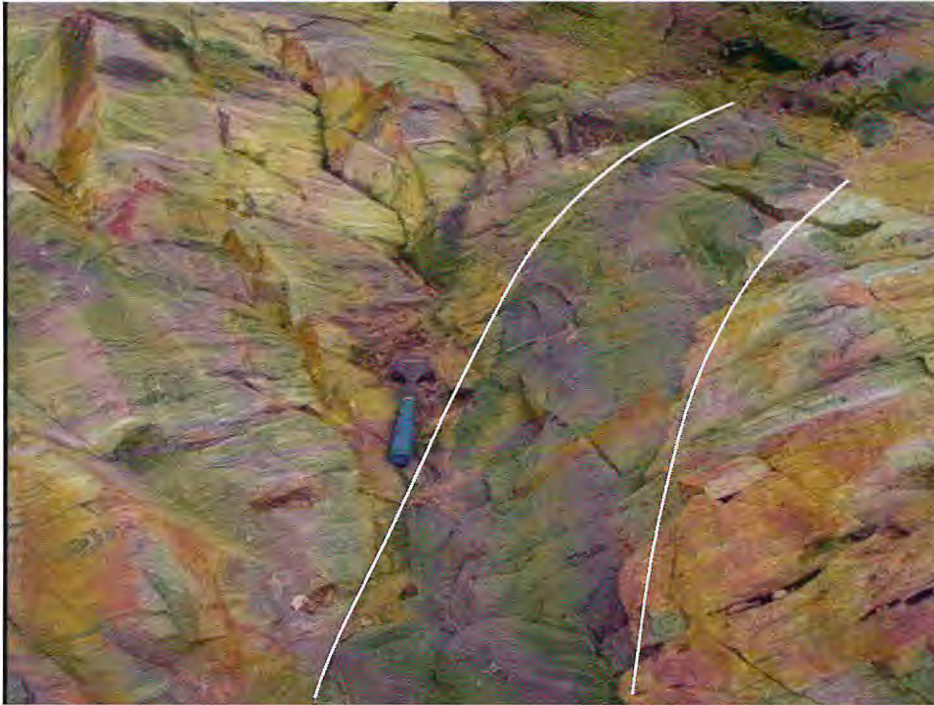


Foto 5: Dique traquítico de direção NE-SW cortado monzogranitos da suíte pré a sin-brasiliana (UTM 311462/9293837).

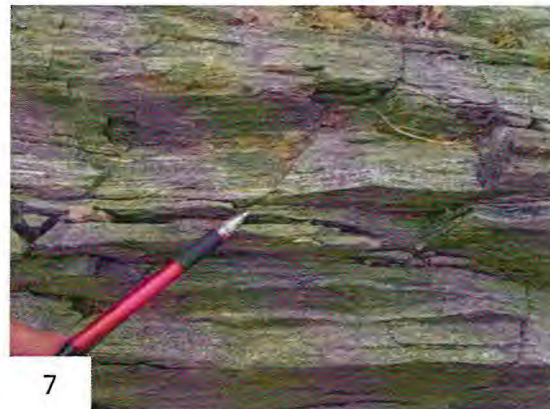


Foto 6: Granito milonitizado com foliação verticalizada (UTM 311462/9293837). Foto 7: Detalhe da foto anterior mostrando foliação com direção 70°Az, verticalizada. Plano XZ.

Também é possível encontrar grandes exposições de diques de rochas plutônicas e vulcânicas de composição extremamente variada, discordantes com relação à foliação milonítica do embasamento. Rocha hipobissal hidrotermalizada em forma de derrames foi encontrada sobre rochas do embasamento no leito do Rio Jucá (Foto 8).



Foto 8 a: Estratificação formada por derrames de rochas hipoabissais (UTM 311628/9294163).



Foto 8 b: Detalhe do afloramento da foto anterior.

- Diques Plutônicos: São álcali feldspato granitos a monzogranitos de coloração cinza rosado e cinza escuro, localmente cisalhados e formados por uma matriz fina escura onde se destaca porfiroclastos de K-feldspato, e microngranitos porfiríticos milonitizados com fraturas sistemáticas NW-SE (Foto 9). Esses diques encontram-se geralmente discordantes em relação à foliação do embasamento e possuem direções que variam entre 65° a 100°Az (Foto 10).
- Diques vulcânicos: Eles possuem direção variada, estão geralmente discordantes com relação à foliação do embasamento e por vezes apresentam-se concordantes aos demais diques plutônicos (Foto 11). Localmente possuem fragmentos da encaixante (xenólitos) em seu interior (Foto 12) e têm composição que varia de traquito a riolito. Sendo que o riolito está milonitizado.

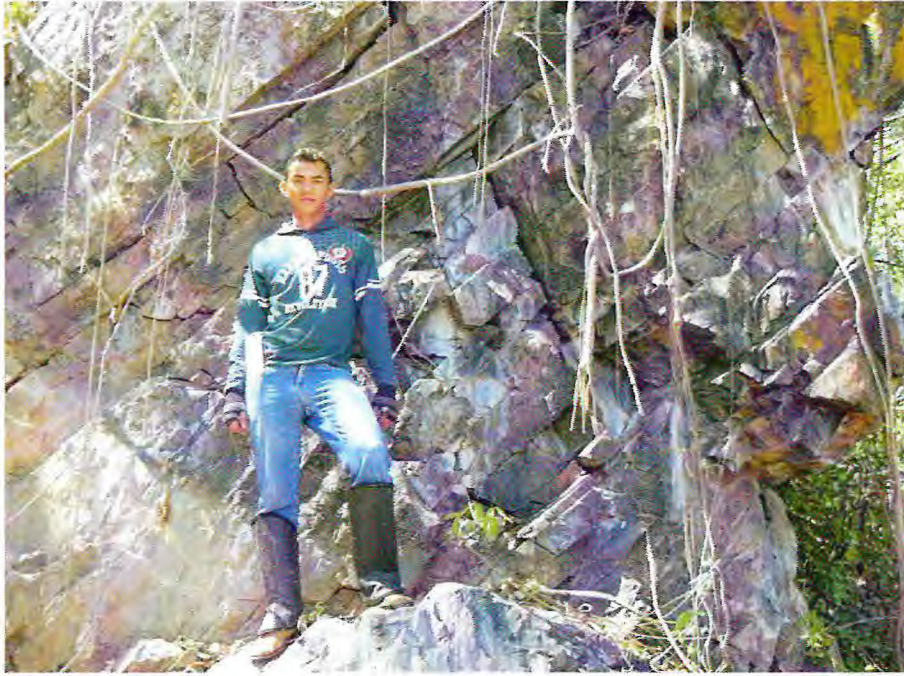


Foto 9: Disque plutônico de composição monzogranítica com fraturas sistemáticas NW/SE (UTM 311274/9294482).



Foto 10: Diques de rochas vulcânicas (UTM 311620/9294176), em discordância com as rochas graníticas supracitadas.



Foto 11: Dique vulcânico levemente concordante com os diques plutônicos (UTM 311620/9294176).

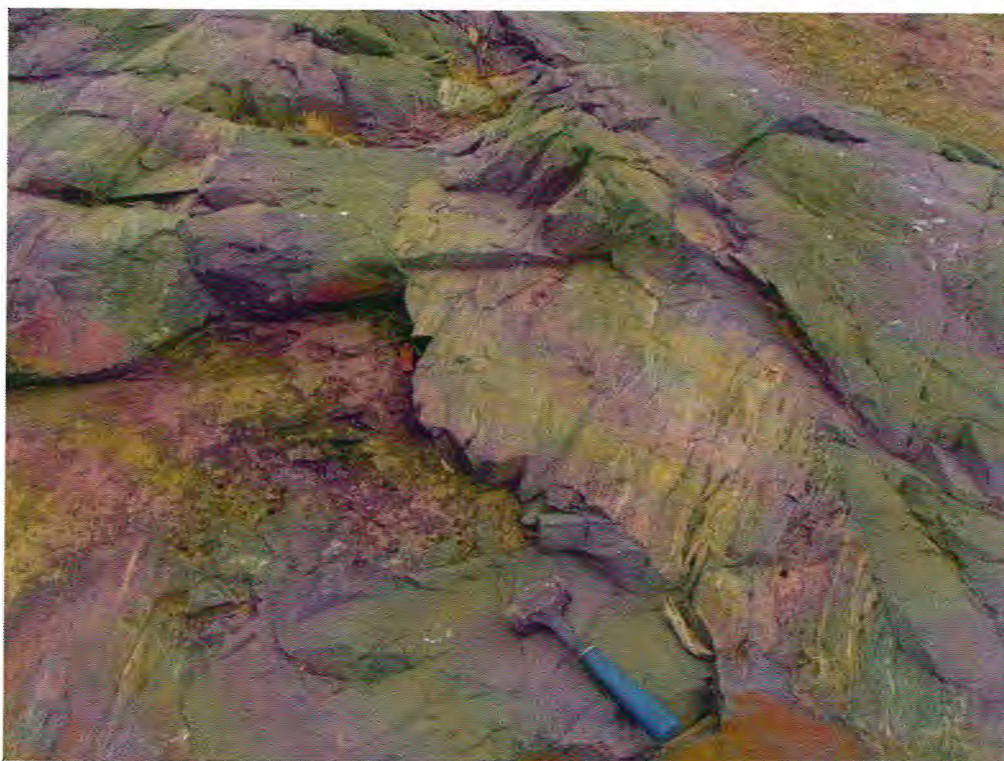


Foto 12: Dique vulcânico com xenólito da rocha encaixante (UTM311628/9294163).

- **Suíte Sin a Tardi-Brasilianas (Neoproterozóico)**

Essa suíte sin-brasiliana aflora na porção centro-sul da área mapeada nas localidades do Sítio Guaribas e Cachoeira do Calisto, na forma de pequenos stocks. São orientados e controlados por pequenas zonas de cisalhamento através das quais fazem contato com o embasamento. Seu contato com as rochas sedimentares da Bacia do Cococi ocorre ao longo da falha normal que delimita a bacia. Essa falha normal explica o intenso fraturamento do granito.

São granitos e granodioritos de granulação fina a média, de coloração cinza a castanho escuro (Foto 13). Encontram-se frequentemente milonitizados e cataclasados, dificultando no campo a identificação da mineralogia. Entretanto, é perceptível a presença de malaquita e calcocita em planos de fraturas e pequenos veios preenchidos por clorita, calcita e malaquita (Foto 14).

Localmente, esses granitos encontram-se também brechados com ocorrência de fluorita como mineral acessório, e com calcopirita, pirita e malaquita disseminados ou preenchendo vênulas.



Foto 13: Afloramento do granito sin a tardi-brasiliano mostrando a malaquita em planos de fraturas.

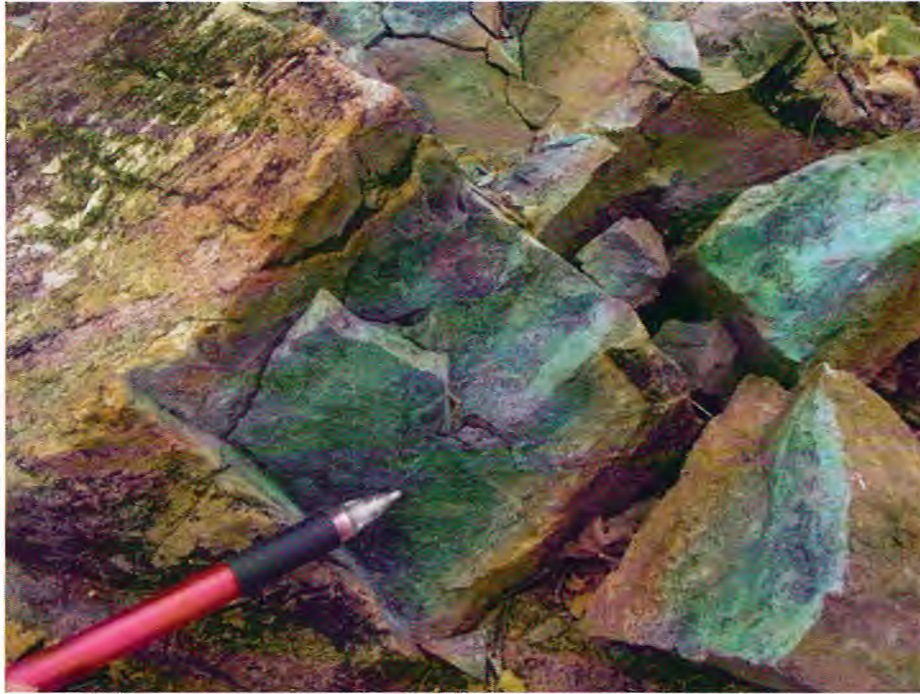


Foto 14: Foto do granito sin a tardi-brasiliano com malaquita (UTM 307106/9285854).

- **Suíte Tardi a Pós-Brasiliiana**

Esses granitóides são de textura porfírica, com tendência alcalina, variando de sienitos a sieno-granitos, e se encontram cortados por diques ácidos de granitos mais jovens (Gomes & Vasconcelos, 2000).

Na região estudada a suíte tardi a pós-tectônica aflora na porção norte da área mapeada. Ela é representada por um stock de aproximadamente 7 km de extensão ao longo de uma zona de cisalhamento. Esse stock é representado por quartzo sienitos de granulação média, com textura fanerítica equigranular, e coloração rosada (Foto 15). A mineralogia é constituída essencialmente por feldspato potássico, plagioclásio e quartzo. O contato com as rochas sedimentares da bacia ocorre ao longo da falha normal que delimita a bacia.

Localmente, ocorrem nesta suíte malaquita, calcopirita e pirita associados à brechação que foi acompanhada por hidrotermalismo, com a presença de veios preenchidos por clorita, óxido de ferro e calcita, em padrão estrutural similar a *stockwork*s (Foto 16).

Seus afloramentos são bem representados ao longo do rio Jucá e, saindo um pouco da área de trabalho, em uma pedreira desativada às margens da BR-020.



Foto 15: Granito tardi a pós-brasiliano de coloração rosada ao longo do Rio Jucá (UTM 311461/9293327). Foto 16: Fácies hidrotermalizada do granito tardi a pós-brasiliano. Afloramento às margens da BR-020, um pouco fora da área mapeada (UTM 315024/9294338).

4.2 Bacia Eo-Paleozóica do Cococi

A sequência sedimentar da bacia do Cococi é representada pelo Grupo Rio Jucá constituído pelas formações Angico Torto, Cococi e Melancia.

Ela é preenchida, por duas sequências clásticas imaturas compostas por conglomerados e/ou brechas conglomeráticas polimíticas, e ainda por arenitos arcoseanos, folhelhos, siltitos e calcário.

4.2.1 Formação Angico Torto

A Formação Angico Torto aflora na porção centro-norte ocupando grande parte da área de trabalho. Esta unidade é representada por uma sequência clástica composta essencialmente por brechas conglomeráticas gradando para arenitos, siltito e folhelhos em direção ao topo.

- **Brechas conglomeráticas**

As brechas conglomeráticas polimíticas apresentam seixos de composição variada (Foto 17). São seixos provenientes de rochas do embasamento (granitos e gnaisses), de rochas sedimentares (arenitos) e de rochas vulcânicas (riolitos).

As brechas conglomeráticas são em grande parte do tipo clasto suportado, com os clastos apresentando dimensões variando de 2 a 30cm (Foto 18). A matriz possui coloração vermelha rosada com grãos de quartzo e feldspato indicando sua composição

arcoseana. Essas rochas possuem baixo grau de maturação refletindo a proximidade da área fonte.



Foto 17: Brecha da Formação Angico Torto com clastos de composições variadas, dominando fragmentos de rochas graníticas. (UTM 309643/9289400).



Foto 18: Afloramento na pedreira de rocha ornamental próximo a BR-020 (UTM 309643/9289400).

- **Arenitos, Siltitos, Folhelhos e Calcários**

Os arenitos, folhelhos e siltitos encontram-se intercalados entre si, possuem coloração predominantemente vinho avermelhada indicando um ambiente oxidante (Foto 19) e coloração verde claro amarronzado indicando um ambiente redutor (Foto 20). De modo geral, essas rochas possuem granulação fina a muito fina e porções grossas próximas à brecha conglomerática.

Exibem estratificação plano paralela, localmente dobrada e basculada, sobretudo próxima à zona de falha, micro-estratificações espinha de peixe, acanaladas e hummocky (Fotos 21, 22, 23, 24, 25 e 26).

Os calcários são raros e afloram em finas camadas de 5 a 10 cm intercalados a arenitos, siltitos e folhelhos, associados a ambientes redutores (Foto 27). Possuem granulação fina a muito fina e coloração bege claro. É importante assinalar que esta é a primeira vez que esses calcários foram registrados na Bacia de Cococi, bem como nas bacias eopaleozóicas do domínio setentrional da Província Borborema.

A ocorrência de cobre, representada pela malaquita, está associada ao siltito depositado em ambiente redutor (Foto 28).



Foto 19: Intercalação de arenitos e folhelhos de coloração vinho avermelhado (UTM 311448/9292363).

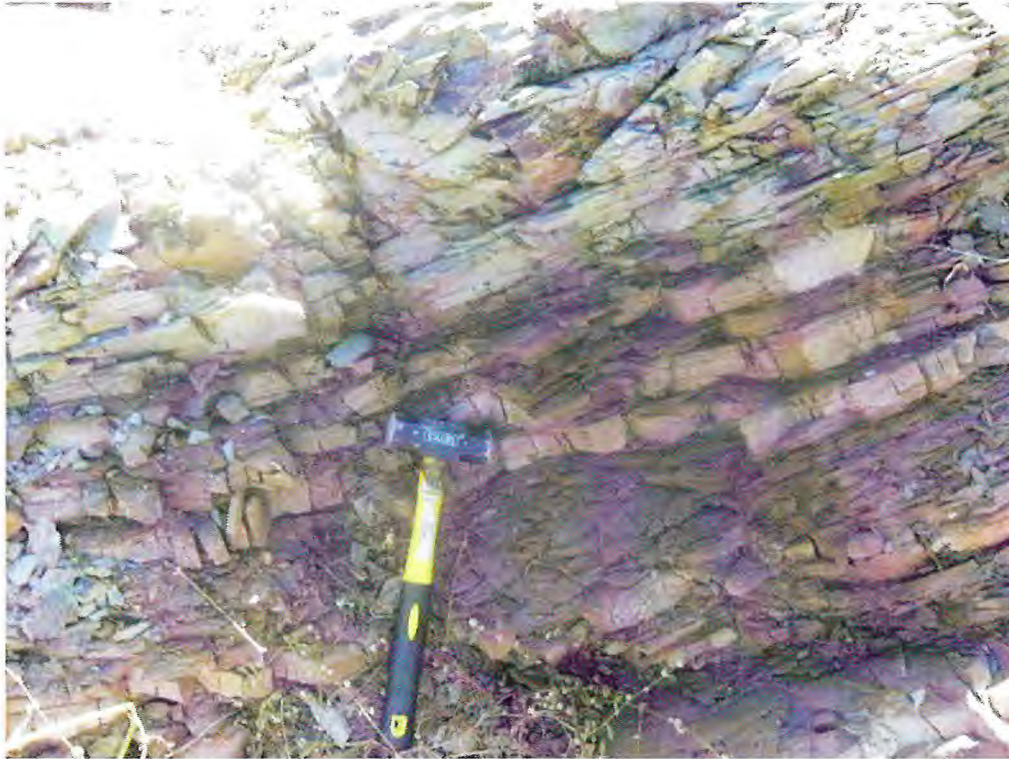


Foto 20: Intercalações de arenito e folhelhos de coloração marrom chocolate sobrepostos por siltito cinza esverdeado (UTM 309470/9292708).



Foto 21: Intercalação de arenitos e folhelhos basculados (UTM 312017/9292367).



Foto 22: Estratificação espinha de peixe em arenito fino (UTM 309561/9288907).

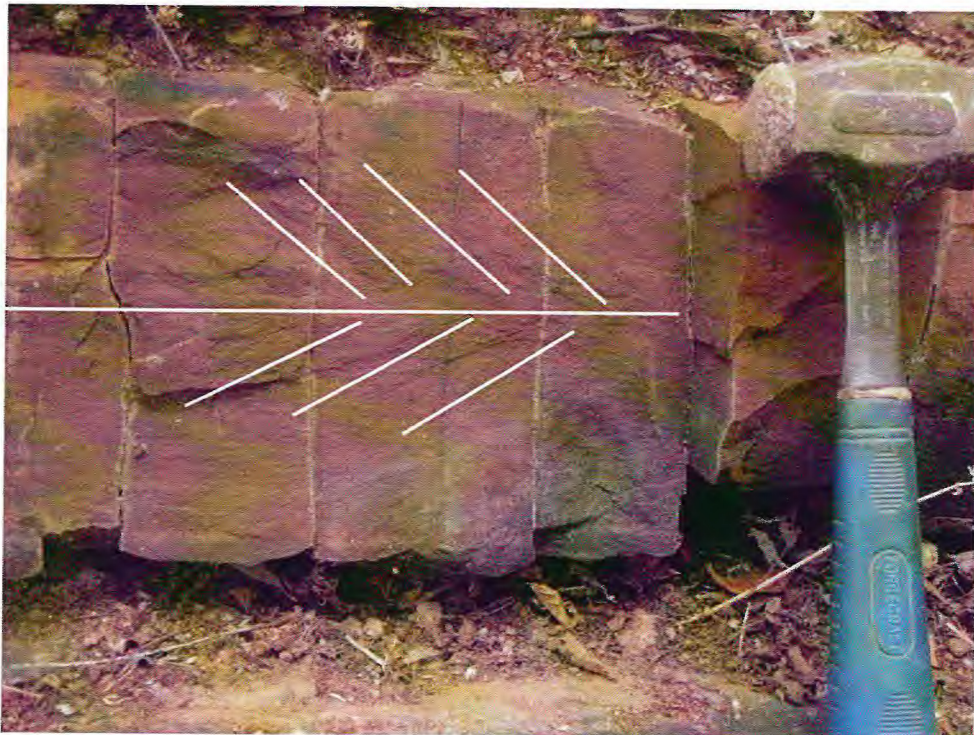


Foto 23: Detalhe da estratificação espinha de peixe da foto anterior.



Foto 24: Estratificação hummocky? (UTM 312095/9292220).

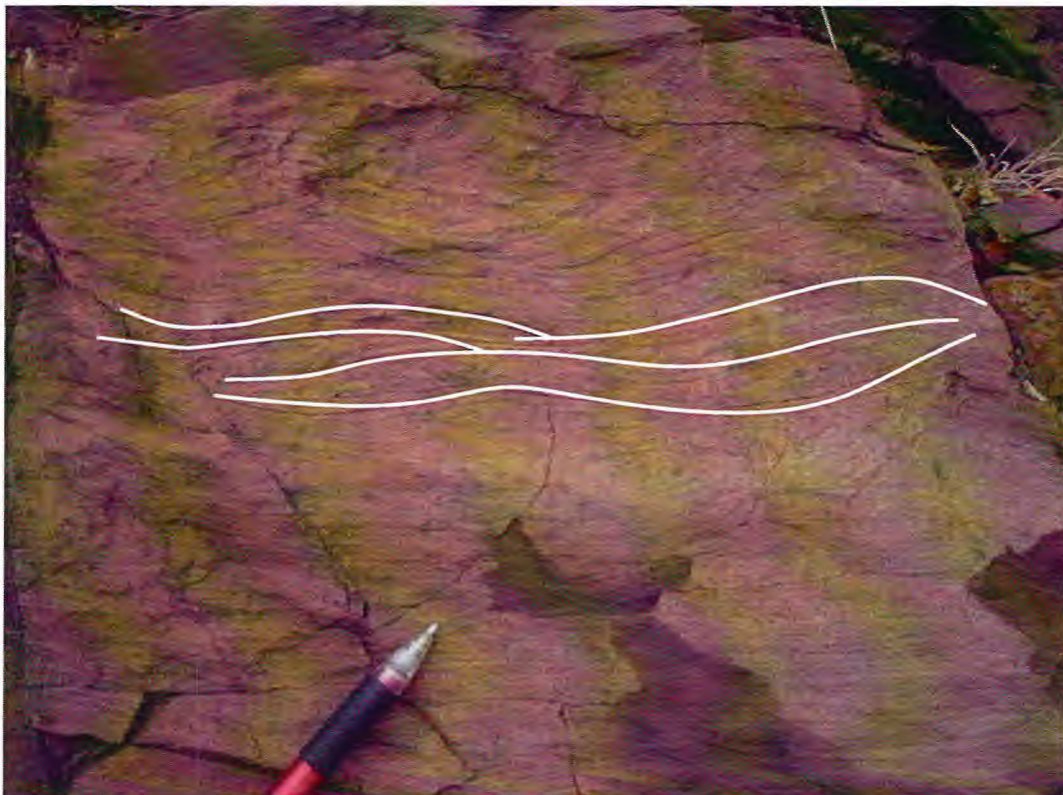


Foto 25: Estratificação hummocky em arenito fino (mesmo afloramento da foto anterior).

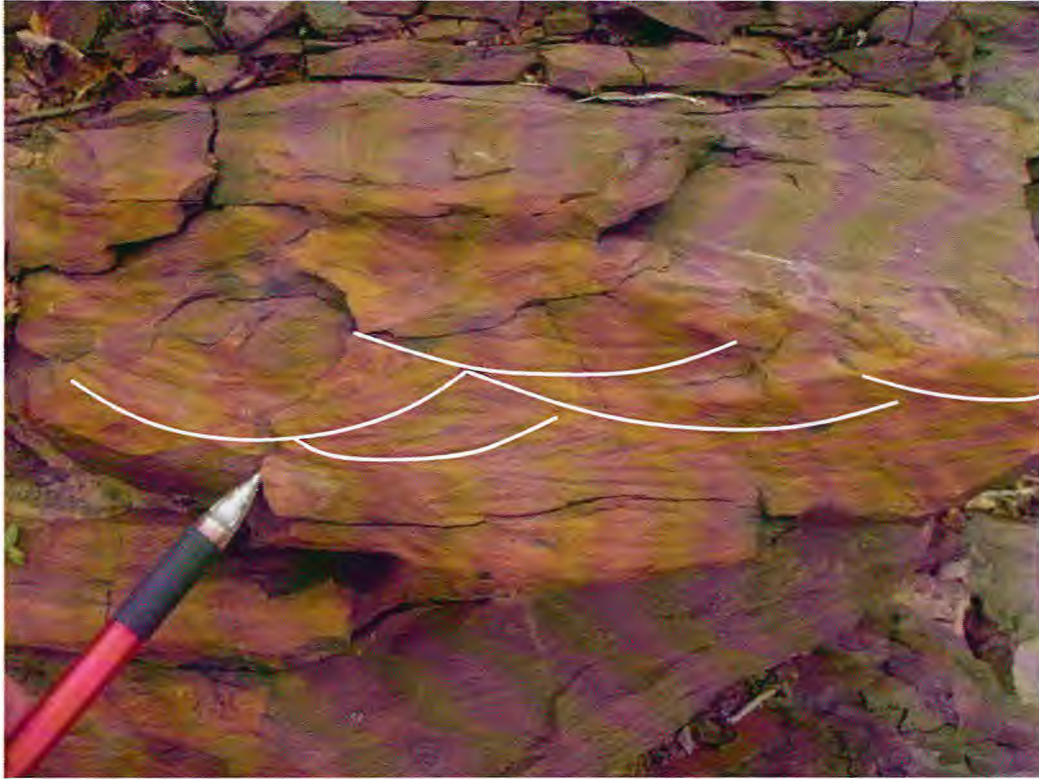


Foto 26: Estratificação acanalada em arenito fino (UTM 312017/99292367).



Foto 27: Calcário Intercalado a arenito fino, siltitos e folhelhos em ambiente redutor.



Foto 28: Malaquita associada ao siltito da Formação Angico Torto (amostra de mão).

4.2.2 Formação Cococi

Na área mapeada, a Formação Cococi é representada por arenitos vermelhos finos (*red beds*) e folhelhos intercalados. Esses arenitos são semelhantes aos arenitos encontrados na Formação Riacho Torto e Melancia. Os contatos da Formação Cococi na área mapeada foram estabelecidos considerando o mapa geológico do Estado do Ceará de Cavalcante et al., 2003.

4.2.3 Formação Melancia

A Formação Melancia na área mapeada fica localizada na porção centro-sul em contato tectônico com o granito sin-brasiliano. Esta unidade representa o último registro deposicional da bacia. É constituída por material clástico imaturo representado por conglomerados polimíticos, que, ocorrem na forma de matacões espalhados pela área mapeada.

Seu arcabouço é constituído por seixos angulos diversificados, com clastos provenientes do embasamento (gnaisse e brechas), rochas sedimentares e fragmentos de minerais (epidoto e quatzo) (Foto 29).



Foto 29: Conglomerado polimítico da Formação Melancia (UTM 310460/9286372).

4.3 Grupo Serra Grande

Na área mapeada, o Grupo Serra Grande está representado pela Formação Jaicós que é constituída de arenitos conglomeráticos imaturos, de coloração creme avermelhado, cujo arcabouço é essencialmente composto por quartzos angulosos (Foto 30).

Geomorfologicamente, esse Grupo é representado pela Serra homônima, que limita todo o território Cearense a oeste, e na porção sul encontra-se em contato com o quartzito da Unidade Arneiroz.



Foto 30: Arenito conglomerático da Formação Jaicós com estratificação cruzada planar. Esse afloramento situa-se na localidade Baixão da Aroeira (UTM 284763/9304725).

Capítulo 5

Petrografia

5.1 Unidade Arneiroz

5.1.1 Quartzito

Ao microscópio essa rocha exibe textura granoblástica, composta essencialmente de quartzo (Foto 31). Como minerais acessórios (<5%) ocorrem biotita, muscovita e opacos.

Os cristais de quartzo possuem formato anedral apresentando contornos irregulares, exibindo extinção ondulante bem marcante e, localmente, recristalização em subgrãos. Seus tamanhos variam de 0,5 a 2mm.

A biotita é encontrada de forma lamelar sub a eudral, por vezes alterando-se para muscovita.

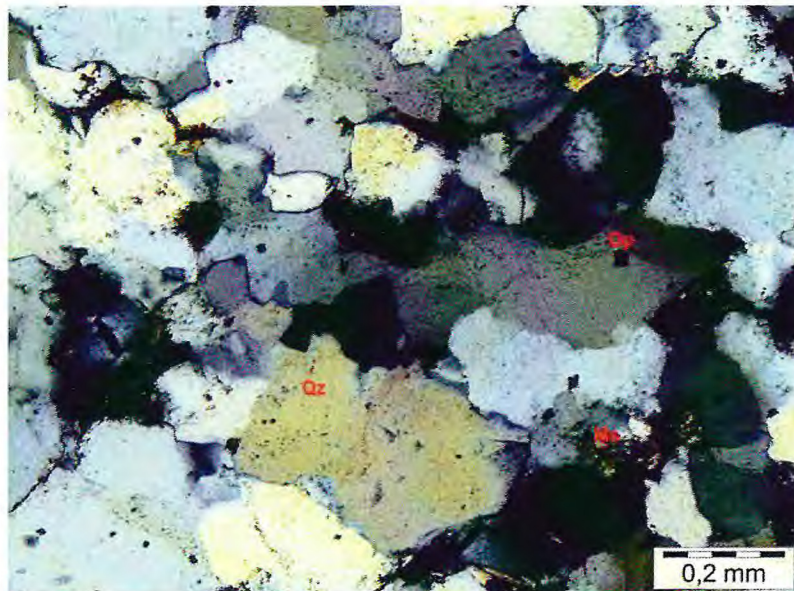


Foto 31: Quartzito exibindo textura granoblástica. Luz polarizada.

5.2 Suíte Pré a Sin-Brasilianos

5.2.1 Granodiorito

Em seção delgada essas rochas exibem textura protomilonítica, com orientação marcada pela biotita (Foto 32). São compostas essencialmente por quartzo (35 a 40%), plagioclásio (31-36%), feldspato potássico (10-15%) e biotita (5-8%). Como acessório encontra-se apatita, granada e opacos.

O quartzo ocorre por toda área da lâmina em grãos anédricos de contornos irregulares, exibindo extinção ondulante, recristalização em subgrãos e dimensões que variam de 0,2 a 0,9mm.

Os cristais de plagioclásio são anédricos, exibindo geminação polissintética paralela, e por vezes se encontram encurvados. É comum a ocorrência de intercrescimento de quartzo mirmequítico no contato de cristais de plagioclásio e feldspato potássico (Foto 33). O plagioclásio encontra-se na matriz e como porfiroclastos em dimensões que variam de 1 a 3,0mm. Esse mineral apresenta-se mais ou menos alterado para mica branca.

O feldspato potássico é representado por cristais microclinizados. Apresenta forma anédrica, com as mesmas dimensões do plagioclásio, e exibem ou não geminação. O feldspato potássico encontra-se pouco alterado para mica branca.

A biotita é encontrada de forma lamelar, euédrica, marcando uma foliação principal. São comuns esses cristais de biotita bordejando porfiroclastos de feldspatos. Os tamanhos desses cristais de biotita variam de 0,5 a 1mm.

Neste caso a rocha seria um granodiorito gnaissificado.

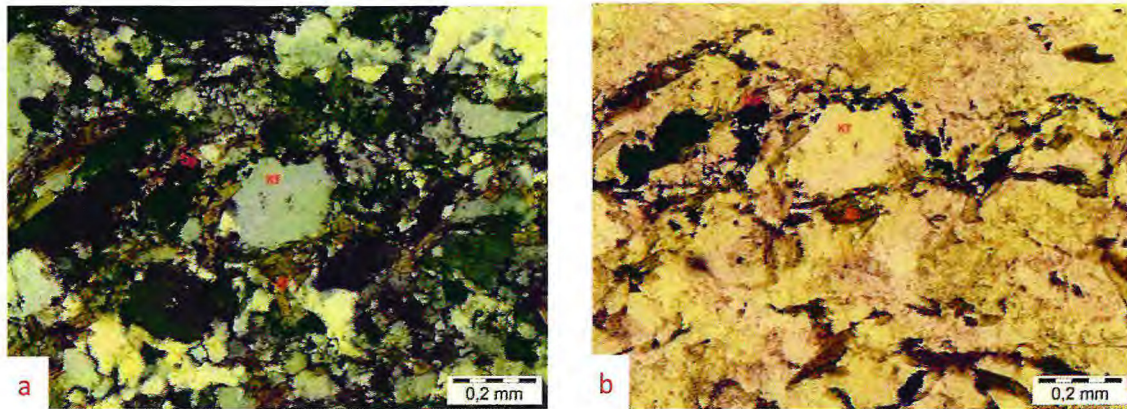


Foto 32: Granodiorito gnaissificado exibindo uma foliação marcada pela a orientação da biotita e opacos que bordejam o feldspato potássico. Luz natural. Biotita Gnaisse exibindo uma foliação uma foliação marcada pela a orientação da biotita e opacos que bordejam o feldspato potássico. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

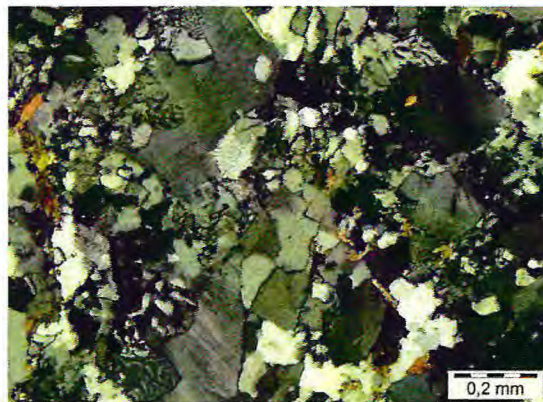


Foto 33: Biotita Gnaisse exibindo textura mirmerquítica. Luz polarizada.

5.2.2 Muscovita Granito Milonitizados

Ao microscópio, esse litotipo possui textura milonítica definida por bandas intensamente deformadas, com forte cominuição de grãos de quartzo e feldspato; exhibe presença de micas *fish* alongadas em forma de lentes, cujo eixo maior faz um pequeno ângulo com a foliação milonítica (Foto 34).

Mineralogicamente, esse milonito é composto essencialmente por quartzo (30-35%), plagioclásio (25-30%), muscovita (25-30%) e feldspato potássico (15-20%). Como acessórios encontram-se apatita, minerais do grupo da argila, biotita e opacos.

O quartzo encontra-se recristalizado em subgrãos, possuem forma anédrica e tamanho entre 0,1 a 0,5mm.

Os cristais de plagioclásios possuem forma anédrica, com o tamanho dos cristais variando de 0,1 a 3mm. Seus cristais raramente exibem geminação, mas apresentam-se intensamente alterados para minerais do grupo da argila. Os cristais de plagioclásio formam sigmóides de tendência destal, por vezes mostrando fendas extensionais preenchidas por muscovita (Foto 35).

A muscovita possui formas subédrica a euédrica tipo mica *fish*, com cristais de tamanho entre 1,0 a 3,0mm.

O feldspato potássico possui forma anédrica e geralmente é encontrado alterando-se para mica branca. O tamanho dos grãos varia de 0,2 a 1mm.

A apatita é encontrada por toda lâmina, com tamanho que varia de 0,1 a 0,3mm, e forma geralmente subédrica. Este mineral possui alto relevo e por vezes encontra-se intensamente fraturado.

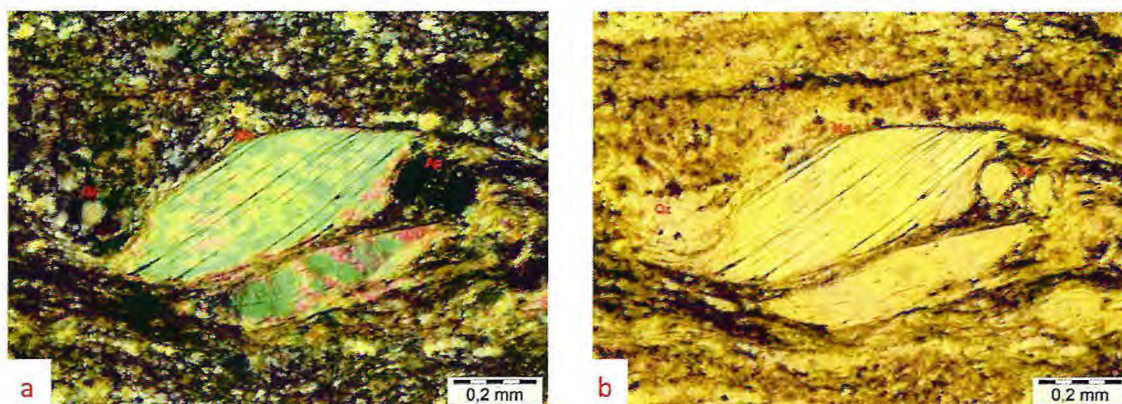


Foto 34: Micas fish alongadas, em forma de lentes, com eixo maior fazendo um pequeno ângulo com a foliação milonítica, indicando uma cinemática destal. (a) Luz Polarizada. (b) Luz natural.

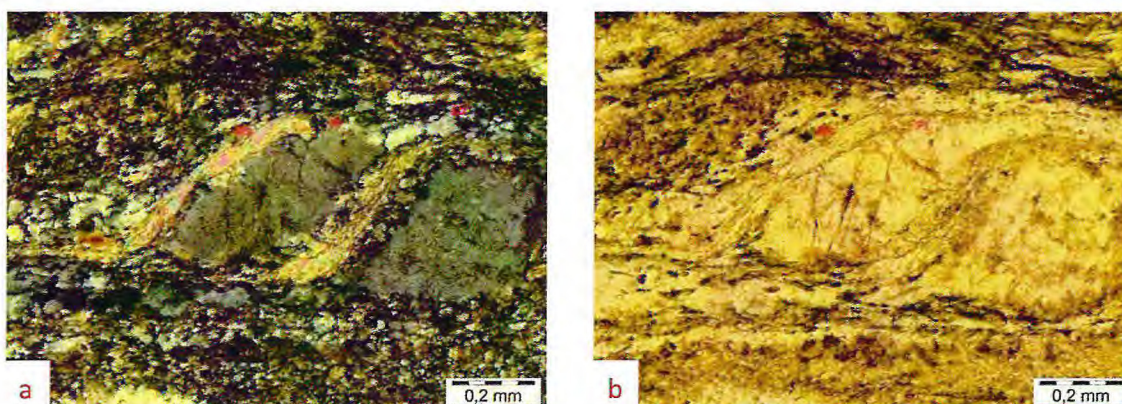


Foto 35: Sigmóides de plagioclásio de tendência destal, mostrando fendas extensionais preenchidas por muscovita. (a) Luz Polarizada. (b) Luz natural.

5.2.3 Clinopiroxênio Tonalito com Titanita

Em seção delgada essa rocha apresenta textura granoblástica com uma assembléia mineral composta essencialmente por plagioclásio (35%), quartzo (30%), feldspato potássico (10%), clinopiroxênio (20%) e titanita (5%). Como minerais acessórios e secundários são encontrados, apatita, hornblenda, epidoto, zircão e opacos.

Os cristais de plagioclásio possuem forma anédrica, com cristais variando de 0,8 a 2,0mm e com geminação polissintética paralela (Foto 36). Esse mineral encontra-se parcialmente alterado para epidoto e minerais de grupo da argila.

Os cristais de quartzo possuem forma anédrica, tamanho variando entre 3,0 e 8mm. São encontrados exibindo extinção ondulante.

Os cristais de clinopiroxênio possuem cor verde clara, exibindo cores de interferência de ordem elevada. Seus cristais possuem forma anédrica e tamanho variando de 1 a 3mm (Foto 37).

A titanita possui forma lenticular anédrica, com tamanho variando entre 0,5 e 1mm. Frequentemente, ocorrem em agregados de cristais, produtos de alteração do clinopiroxênio.

A hornblenda é um mineral secundário que ocorre nas bordas dos cristais de clinopiroxênio, substituindo este último mineral.

A apatita possui forma anédrica a subédrica, com tamanho que varia de 0,5 a 1,5mm. Esse mineral encontra-se por vezes inclusos nos cristais de plagioclásio.

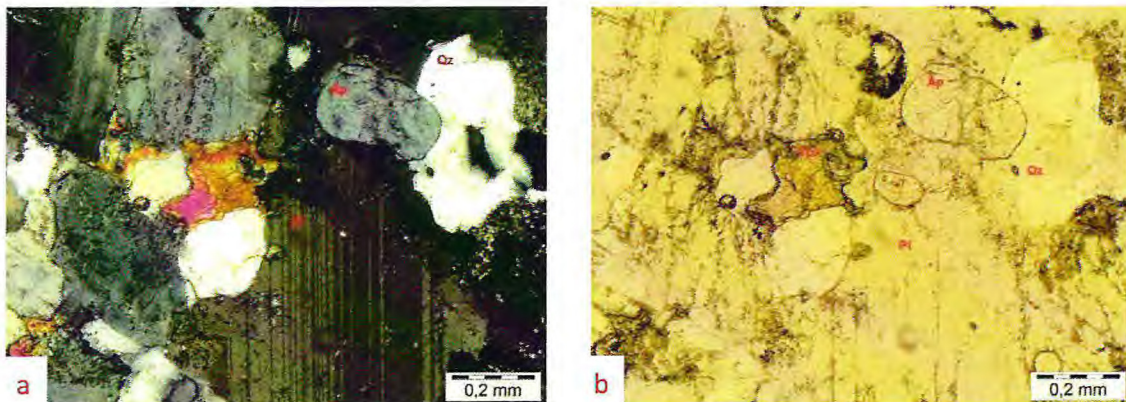


Foto 36: Cristais de plagioclásio exibindo geminação polissintética paralela e inclusão de apatita. (a) Luz Polarizada e (b) Luz natural.

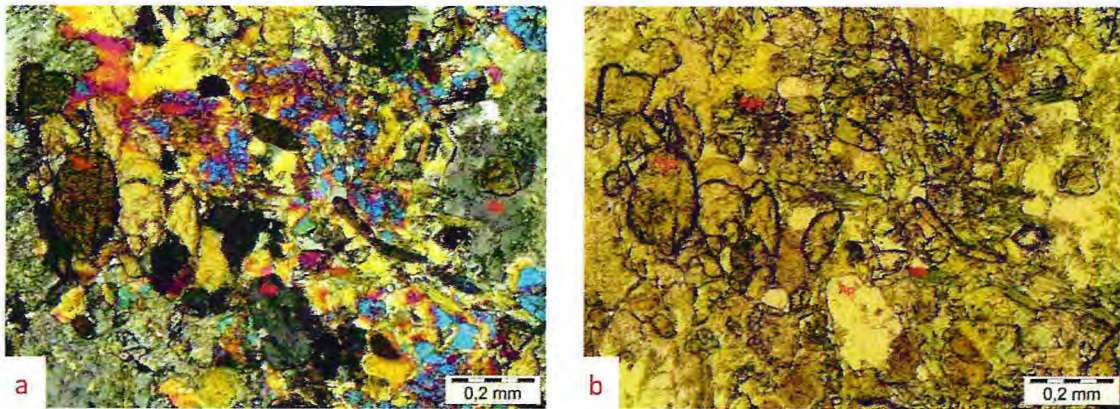


Foto 37: Agregados de clinopiroxênio associados a aglomerados de titanita. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

5.2.4 Granitoides Sin a Pré-Brasilianos (porção norte da área)

Microscopicamente, essa rocha possui textura milonítica (foto 38). É composta essencialmente por quartzo (30-35%), biotita (23-25%), plagioclásio (18-20%) e feldspato potássico (15-17%). Como acessórios encontram-se apatita, zircão e epidoto. Verificam-se a presença de fraturas preenchidas por óxido e/ou hidróxido de ferro na biotita.

Os cristais de quartzo encontram-se principalmente na matriz, estirados e/ou recristalizados em subgrãos.

A biotita exibe forma anédrica a subédrica, com orientação numa direção preferencial. Localmente encontra-se alterada para muscovita. Os cristais de biotita contornam os porfiroclastos de feldspato potássico e plagioclásio, e ocorrem na matriz junto aos cristais de quartzo sublinhando uma foliação milonítica anastomosada.

Os cristais de plagioclásio possuem forma anédrica e apresentam geminação polissintética quase imperceptível. Estes cristais ocorrem na forma de porfiroclastos cujas dimensões variam de 1,0 a 3,0mm. Esses minerais encontram-se microfraturados e intensamente alterados para minerais do grupo da argila.

O feldspato potássico encontram-se pertitizados. Possuem forma anedral, com dimensões que variam de 1,0 a 3,0 mm. Corresponde, também, aos porfiroclastos que estão microfraturados.

Os cristais de apatita são subédricos e com tamanho que varia de 0,5 a 1,5mm (Foto 39).

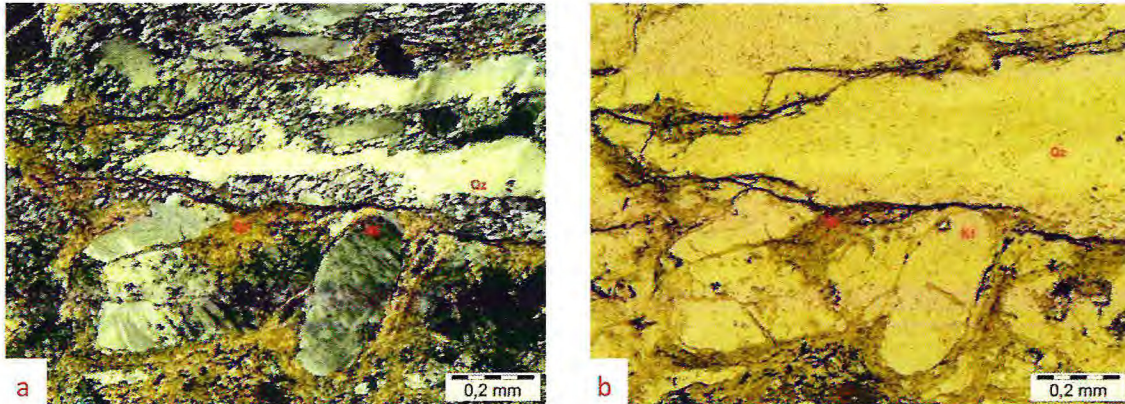


Foto 38: Biotita Gnaiss de composição monzogranítica, com foliação milonítica anastomosada sublinhada por agregados microlamelares de biotita, associados à microcristais de opacos, contornando os porfiroclastos de feldspatos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

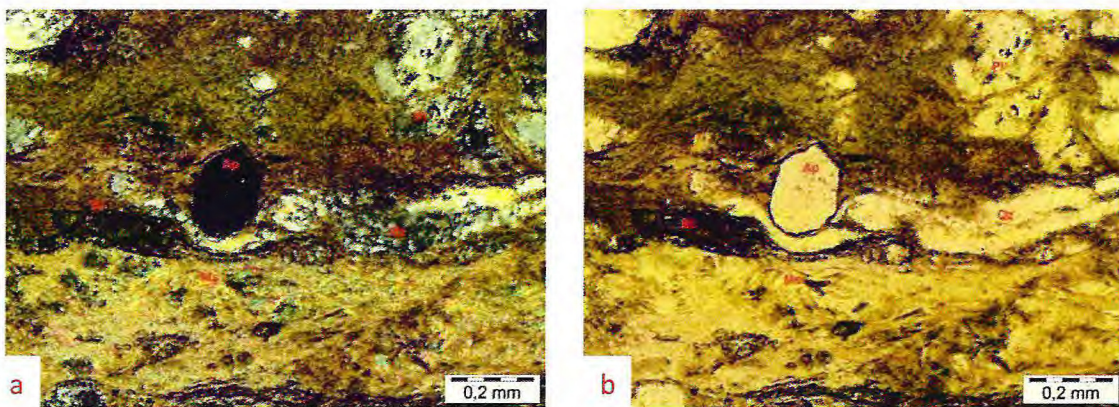


Foto 39: Cristal de apatita envolvido por agregado lamelar de biotita associado a quartzo finamente recristalizado em ribbon, indicando a foliação milonítica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

5.2.5 Diorito

Em seção delgada esta rocha apresenta textura granonematoblástica (Foto 40). É composta essencialmente por plagioclásio (50-60%), clorita (25-30%), titanita (18-20%). Como acessórios encontram-se apatita, zircão e epidoto.

Os cristais de plagioclásio possuem forma subédrica a euédrica e não apresentam geminação. Estes cristais encontram-se intensamente alterados para mica branca. O tamanho dos seus cristais variam de 1 a 4,0mm.

A clorita de cor esverdeada e lilás em nicóis cruzados e ocorre em cristais lamelares anédricos por toda a lâmina. Esses cristais possuem tamanhos que variam de 3 a 6mm e exibe uma leve orientação numa direção. Opacos são encontrados inclusos nestes cristaisl.

A titanita possui tamanho que varia de 1,0 a 2,0mm e exibe forma lenticular. Titanita e clorita estão sempre associadas e pode ser produtos de alteração de uma biotita titanífera.

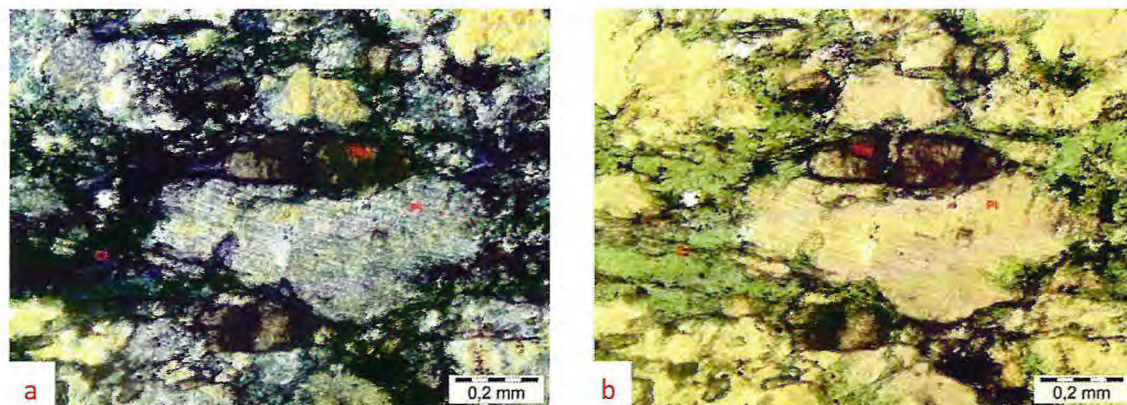


Foto 40: Diorito com textura granonematoblástica com cristais de clorita e titanita levemente orientados. Notar que tal rocha é também deformada e que contém uma assembléia mineral retrometamórfica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

5.2.6 Diques plutônicos

- **Álcali Feldspato Granito Milonitizado**

Ao microscópio, essa rocha exibe uma textura milonítica (Foto 41). Sua mineralogia essencial é composta por feldspato potássico 35-40%, quartzo (30-35%), clorita (15-19%) e anfibólio (10-12%). Como acessórios encontram-se calcita, apatita e epidoto. Verifica-se a presença de fraturas preenchidas por óxido e/ou hidróxido de ferro recortando toda rocha.

Os cristais de feldspato potássico possuem forma anédrica e localmente são encontrados fraturados e alterandos para mica branca. O tamanho dos cristais variam de 1 a 10mm. Por vezes, exibem geminação da microclina.

Os cristais de quartzo encontram-se recristalizados em subgrãos de tamanho que variam de 0,1 a 1mm.

A clorita marca uma foliação anastomosada junto ao quartzo na matriz. Possui forma lamelar euédrica, com tamanho que varia de 0,1 a 0,3mm.

O anfíbólio, representado pela hornblenda, apresenta-se em cristais subédricos, com tamanho que varia de 0,2 a 1,5mm.

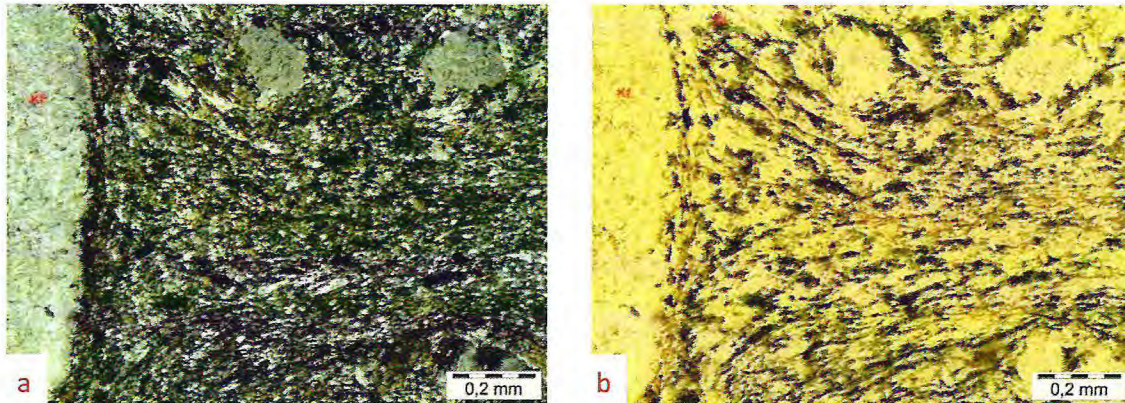


Foto 41: Alkali feldspato granito com textura milonítica. (a) Luz polarizada e (b) luz natural.

- **Monzogranitos Milonitizados**

Em seção delgada essas rochas exibem textura milonítica. Os minerais essenciais são quartzo (38-43%), feldspato potássico (28-32%), plagioclásio (25-30%) e opacos (5-7%).

O quartzo encontra-se recristalizado em subgrãos, com tamanho que varia em torno de 0,2mm, presente predominantemente a matriz.

Os cristais de feldspato potássico encontram-se predominantemente microclinizados e/ou pertitizados (Foto 42). Possuem forma anédrica e tamanhos que variam de 2 a 10mm.

Os cristais de plagioclásio apresentam geminação encurvada, são anédricos com tamanho que variam de 0,2 a 6mm.

Os opacos orientam-se segundo a foliação milonítica ocupando as bordas dos porfiroclastos.

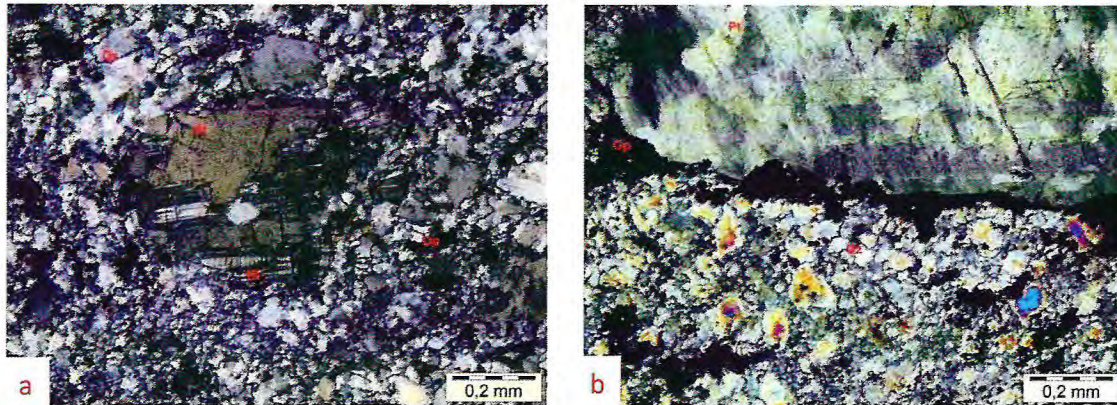


Foto 42: (a) Monzogranito milonitizado exibindo cristais de plagioclásio anédrico, quartzo recristalizado em subgrãos e microclina. (b) Monzogranito milonitizado exibindo um porfiroclasto de pertita bordejado por opacos em meio a uma matriz composta por quartzo finamente recristalizado.

5.2.7 Diques vulcânicos

- **Meta-Riolito**

Microscopicamente, essas rochas possuem textura microporfírica (Foto 43). A mineralogia essencial é constituída por quartzo (50-55%), feldspato potássico (20-25%), plagioclásio (5-10%) e opacos (8-10%). Como mineral acessório epidoto.

A matriz afanítica é composta predominantemente por quartzo com contatos suturados de difícil visualização.

O feldspato potássico é representado por cristais microclinizados e pertitizados. São subédricos a anédricos com tamanho entre 3 a 8mm.

Os cristais de plagioclásio exibem geminação polissintética paralela, têm forma anédrica com tamanho que varia de 2 a 4mm.

Os opacos estão na matriz onde bordejam os porfiroclastos de k-feldspato e encontram-se também preenchendo fraturas.

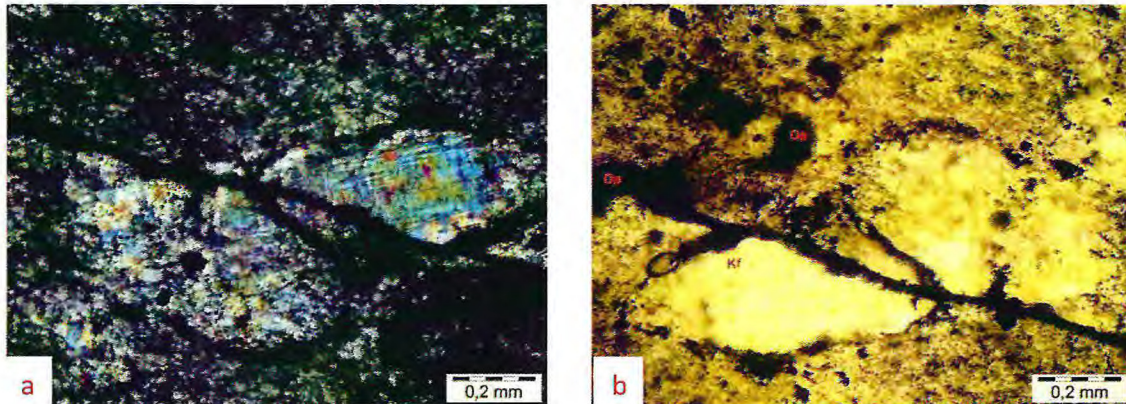


Foto 43: Metariolito com textura microporfirítica com fraturas preenchidas por opacos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

- **Traquito**

Em seção delgada essa rocha exibe textura intersertal (Foto 44). É composta essencialmente por plagioclásio (39-40%), quartzo (8-10%), feldspato potássico (8-10%) e biotita (36-32%). Como acessórios tem apatita, clinopiroxênio e opacos. Nesse traquito são encontrados microenclaves com muscovita e biotita (Foto 45).

O plagioclásio é representado por cristais de oligoclásio que se apresenta em forma de ripas subédricas de tamanho que varia de 0,4 a 0,8mm. Exibem geminação polissintética paralela levemente deformada. Por vezes esses cristais assumem uma textura glomeroporfirítica com cristais de apatita acicular inclusos nos cristais de plagioclásio (Foto 46).

A biotita encontra-se parcialmente cloritizada liberando titânio e/ou ferro.

Os cristais de quartzo são anédricos e exibem extinção ondulante.

O clinopiroxênio encontra-se alterando para opacos (Foto 47).

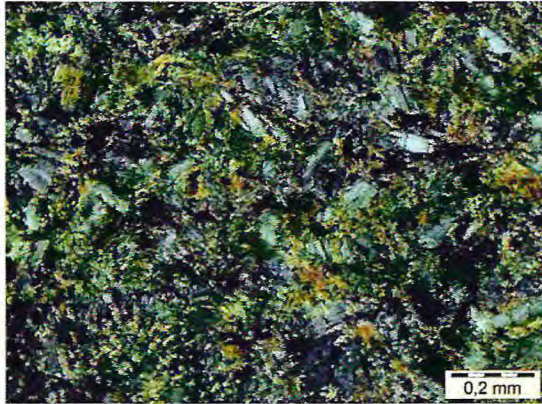


Foto 45: Traquito com agregados ripiformes de plagioclásio em meio a matriz rica em biotita muscovitizada e/ou cloritizada. Luz polarizada.

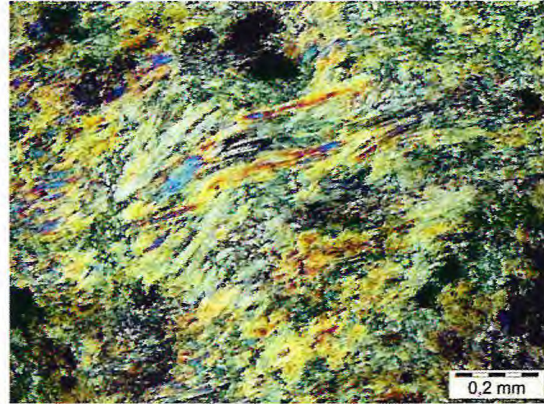


Foto 44: Microenclave com muscovita e clorita. Notar que se encontra levemente crenulado. Luz polarizada.

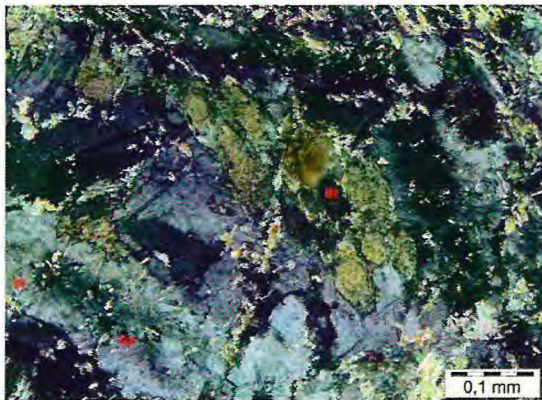


Foto 47: Traquito com textura glomeroporfírica e inclusão de apatita acicular em oligoclásio. Luz polarizada.

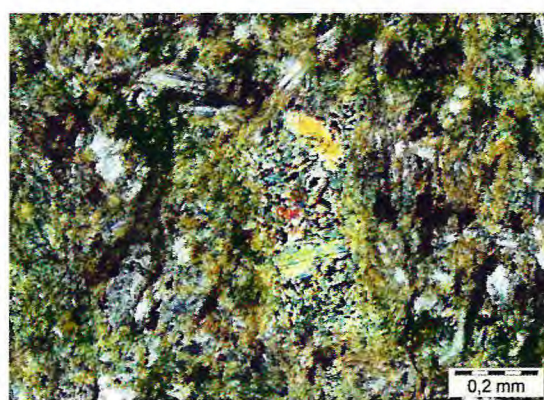


Foto 46: Cristal de clinopiroxênio intensamente alterado com inclusão de opacos. Luz polarizada.

5.3 Suíte Sin a Tardi-Brasiliano (Neoproterozóico)

5.3.1 Granitos

Ao microscópio essas rochas exibem textura milonítica (Foto 48) e possuem fraturas tardias preenchidas por óxido ferro e opacos. São compostas essencialmente por quartzo (40-46%), feldspato potássico (30-32%), plagioclásio (18-22%) e opacos (4-5%).

Os cristais de quartzo são anédricos e estão recristalizados em subgrãos perfazendo a maior parte da matriz. Possuem tamanho que varia de 0,1 a 0,4mm.

Os cristais de feldspato potássico são representados por cristais microclinizados e pertitizados. São anédricos e estão fraturados. O tamanho desses cristais variam de 1 a 2,5mm.

Os cristais de plagioclásio exibem geminação polissintética paralela e também estão fraturados. Esses cristais possuem dimensões que variam de 0,3mm a 1,5mm.

Os opacos estão distribuídos por toda lâmina, se concentrando em fraturas e nas bordas de porfiroclastos de feldspato potássico (Foto 49).

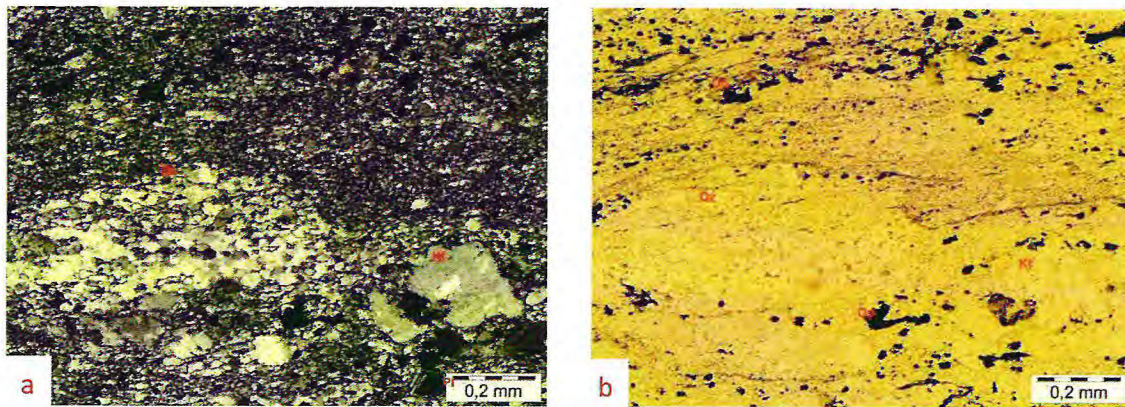


Foto 48: Granito exibindo foliação, com opacos disseminados em meio a matriz composta por agregados finamente recristalizados de quartzo, feldspato e biotita sublinhando a foliação milonítica (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

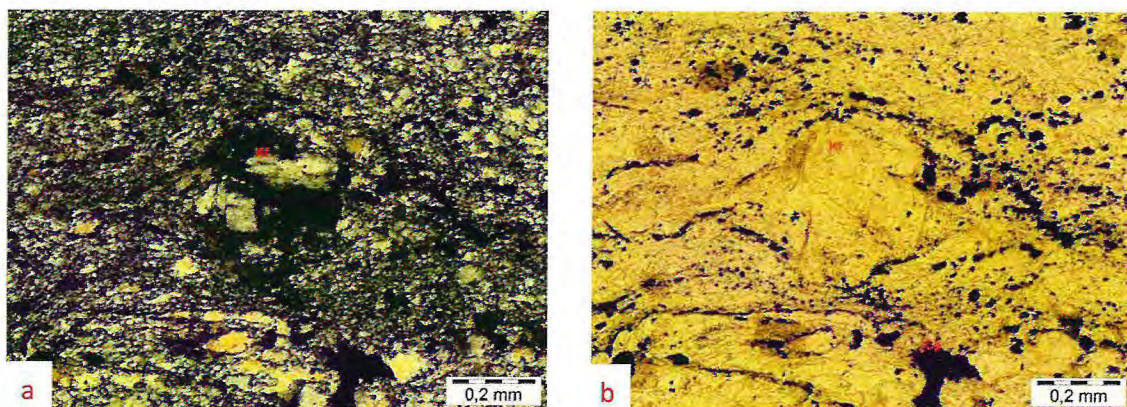


Foto 49: Granito milonitizado com porfiroclasto de feldspato potássico bordejado por opacos. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

5.4 Suíte Tardi a Pós-Brasiliano

5.4.1 Quartzo sienito

Microscopicamente, essas rochas possuem textura fanerítica granular, recortadas por veios preenchidos por quartzo, calcita e clorita (Foto 50). São compostas essencialmente por feldspato potássico (45-50%), plagioclásio (28-34%) e quartzo (6-10%). Como acessórios e minerais secundários encontram-se clorita, calcita, sericita, zircão e epidoto.

Os feldspatos potássicos são representados por cristais microclinizados e pertitizados. São anédricos e estão pouco alterados. Possuem tamanho que varia de 1,0 a 4,5mm (Foto 51).

Os cristais de plagioclásio exibem geminação polissintética ou não, são anédricos, com tamanho variando de 1,0 a 4,0mm. Encontram-se intensamente alterados para mica branca.

O quartzo encontra-se em pequena quantidade em algumas porções da lâmina e preenchendo veios. Exibem forma anedral e extinção ondulante.

A calcita e clorita encontram-se preenchendo veios e disseminadas por toda lâmina.

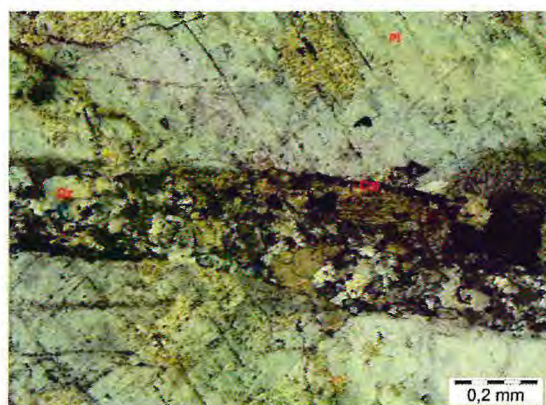


Foto 51: Cristal de plagioclásio recortado por um veio constituído por quartzo e calcita. Luz polarizada.

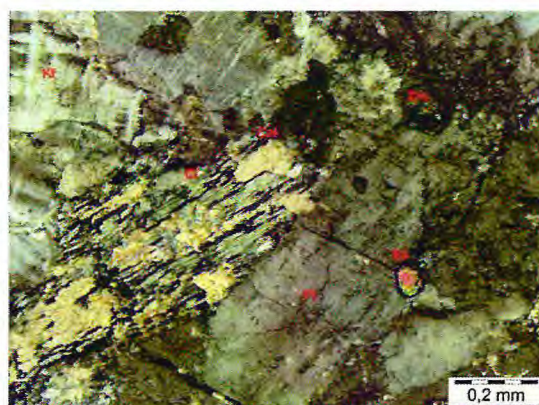


Foto 50: Calcita e clorita em contato com cristais de microclina e plagioclásio. Luz polarizada.

5.5 Grupo Rio Jucá

5.5.1 Formação Angico Torto

- Arenitos Arcosianos Finos

Em seção delgada essas rochas apresentam textura psamítica. Não é possível identificar a matriz devido à granulação muito fina, entretanto a rocha é cimentada por óxido/hidróxido de ferro (10%). Seus principais constituintes são grãos de quartzo (45-50%), feldspato potássico (10-15%) e plagioclásio (12-17%) (Foto 52). Como acessório tem-se opacos e muscovita dispersos por toda lâmina. Os contatos são longitudinais podendo ser côncavos e convexos. Essas indicações estão associadas a arenitos bem selecionados e mineralogicamente submaturo a imaturo.

Os grãos de quartzo estão bem selecionados, possuem baixa esfericidade, são subangulosos e exibem por vezes extinção ondulante.

O feldspato potássico e os plagioclásios exibem geminação polissintética cruzada e paralela respectivamente (Foto 53). Possuem baixa esfericidade e são subangulosos.

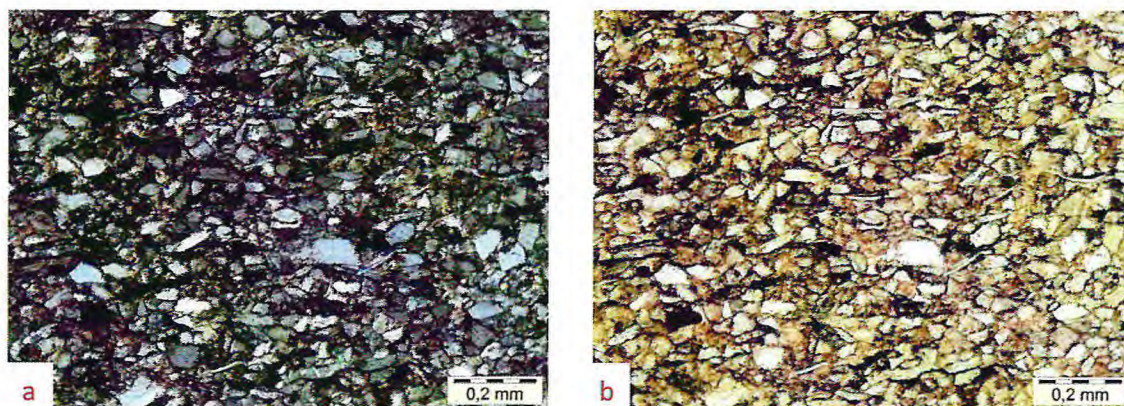


Foto 52: Arenito muito fino cimentado por óxido/hidróxido de ferro. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

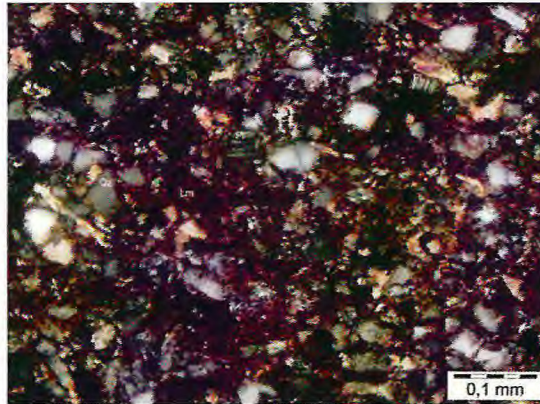


Foto 53: Arenito fino com cristais de plagioclásio exibindo geminação polissintética e meio a uma matriz cimentada por óxido/hidróxido de ferro. Luz polarizada.

- **Arenitos Arcosianos Grossos**

Ao microscópio, esses arenitos apresentam textura granular variando de 0,2 a 5mm, ou seja, mal selecionado, mostrando dois fácies distintos (Foto 54). A matriz e o cimento são quase inexistentes, raro os óxido/hidróxido de ferro. A rocha é composta essencialmente por quartzo (40-45%), plagioclásio (25-32%) e feldspato potássico (24-31%). Como acessórios encontram-se opacos, mica branca e minerais do grupo da argila.

O quartzo apresenta leve extinção ondulante. O plagioclásio possui geminação polissintética paralela. E os cristais de feldspato potássico são representados por microclina.

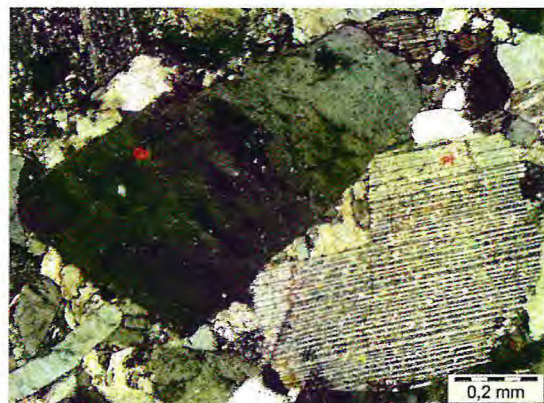
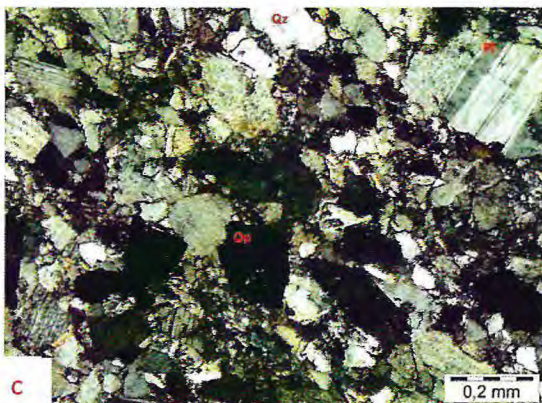


Foto 54: Arenito de granulação média a grossa da Formação Angico Torto com cristais de quartzo e plagioclásio de dimensões que chegam a 6,0mm.

- **Brecha Conglomerática**

Essa brecha é essencialmente composta por fragmento de rocha de diferentes composições (Foto 55). Esses fragmentos de rocha correspondem a granitos, rochas vulcânicas (basalto) e fragmento de minerais (quartzo, plagioclásio e feldspato potássico).

De maneira geral os cristais de feldspatos estão intensamente alterados para mica branca e minerais do grupo da argila e por vezes apresentando geminações curvadas.

Os cristais de quartzo mostram-se por vezes recristalizados, anédricos e preenchendo veios junto a cristais de calcita.

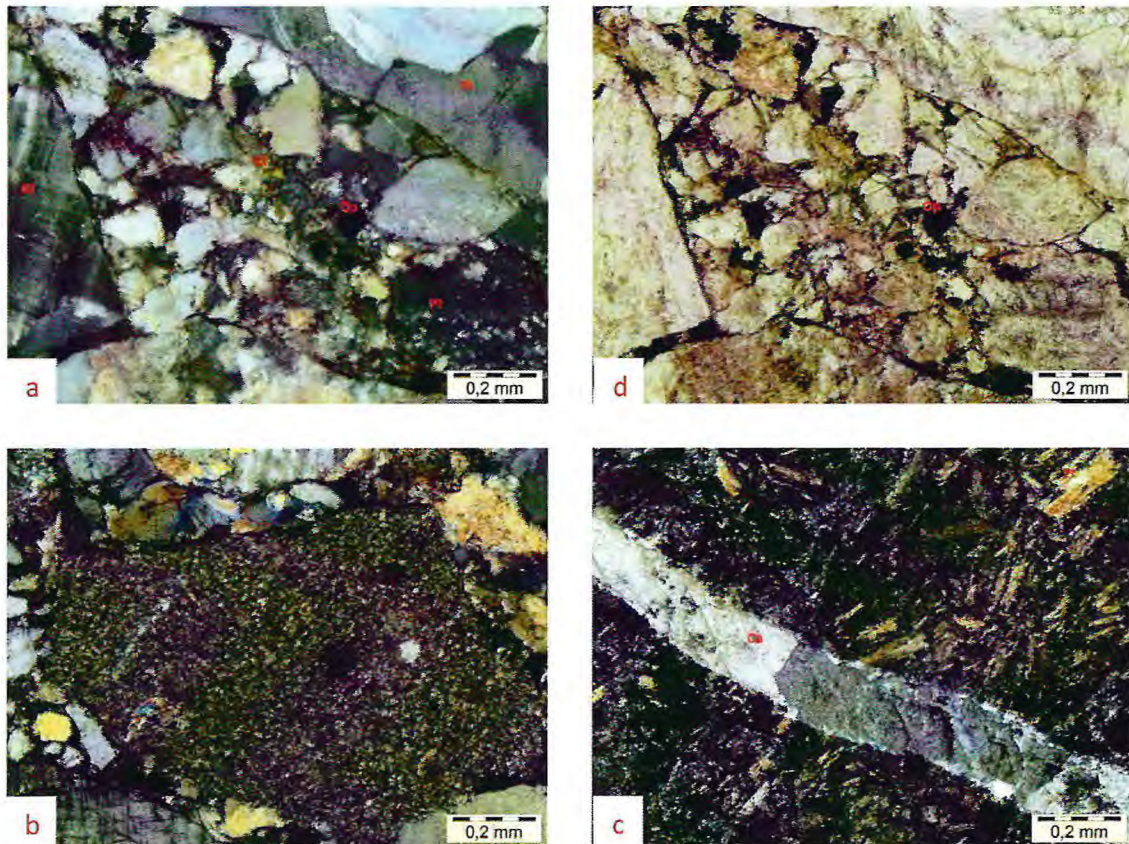


Foto 55: Brecha conglomerática composta por fragmentos de rocha de diversos tamanhos, cortados por veios tardios de calcita e quartzo. (a) Fragmento de rocha granítica; (b) Fragmento de rocha vulcânica; (c) basalto cortado por veios de calcita e quartzo. Luz polarizada.

- **Calcário**

Trata-se de um calcário micrítico com presença de cristais alongados de pseudomorfo da gipsta e cristais triangulares pseudomorfos de dolomita em zonas de desmicritização. Essas zonas são marcadas por manchas claras e veios seguindo uma organização planar. Secundariamente encontram-se lamelas de biotita e muscovita detrítica.

De maneira geral os contatos entre cristais são côncavos e convexos resultado da dissolução por pressão.

A presença de opacos por toda lâmina é notória apesar da sua granulação muito fina. Em seção polida é possível distinguir esses opacos com piritas com hábito framboidal (Foto 56 e 57).

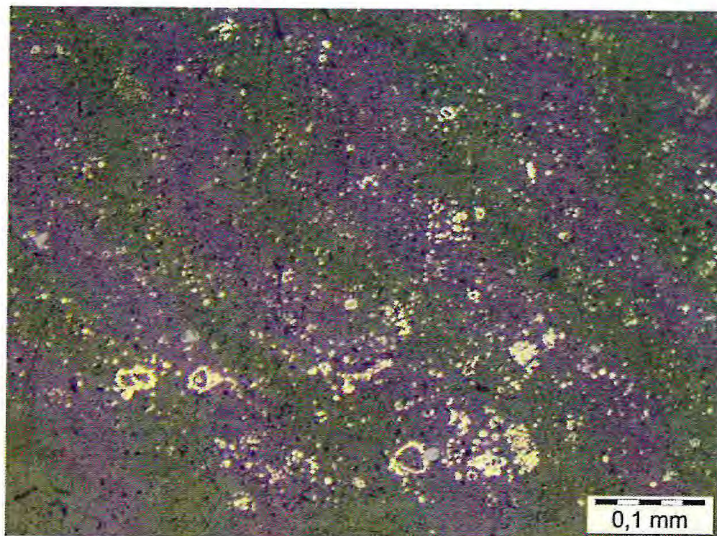


Foto 56: Cristais de piritas disseminadas no calcário.

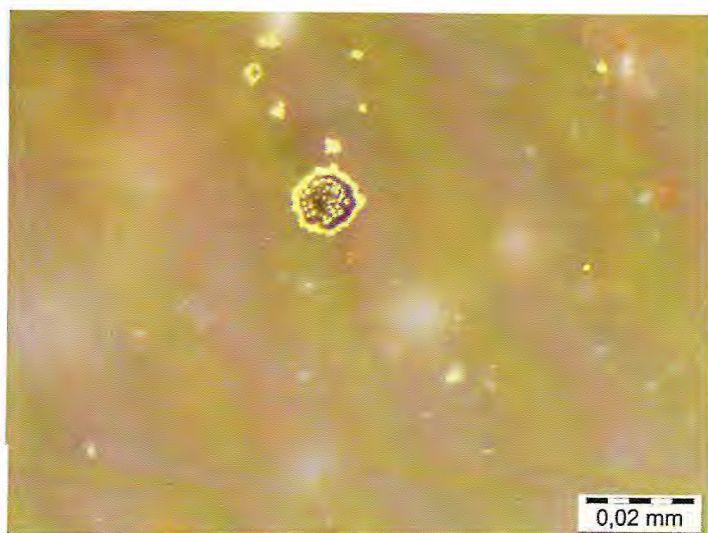


Foto 57: Pirita exibindo hábito framboidal.

Capítulo 6

Deformação e Metamorfismo

A Bacia do Cococi corresponde a uma bacia molássica do Estágio de Transição (Ciclo Brasileiro – 0.7 – 0.5 Ga) do tipo rifte e/ou *pull-apart* e desenvolveu-se a partir da atividade tardia das transcorrências relacionadas ao colapso do orógeno Brasileiro (Parente et al., 2004). Ela é limitada por duas zonas de cisalhamento dúcteis ao norte e sul. Tais zonas são superpostas por reativações dúcteis-frágeis ou frágeis tardias, relacionadas ao rifteamento que resultou na abertura desta bacia. A formação da bacia, na Província Borborema, se traduz, portanto, na progressiva estabilização da Plataforma Sul-americana após o Ciclo Brasileiro.

São reconhecidas e descritas as seguintes feições estruturais: Estruturas dúcteis: foliação e zona de cisalhamento; Estruturas rúpteis Falhas (Juntas e fraturas). Os dados estruturais foram plotados em rede de Schmidt-Lambert com projeção do hemisfério inferior, a partir da utilização do programa Rock Works (versão 1.5).

6.1 Estruturas Dúcteis

6.1.1 Foliação Sn (Zona de Cisalhamento)

Em campo, as medidas de foliações foram realizadas nas rochas do embasamento da Bacia do Cococi que correspondem aos granitóides das suítes brasileiras e ao quartzito da Unidade Arneiroz que ocorre na área mapeada. A foliação milonítica é desenvolvida por zonas de cisalhamento de direção E-W e NW-SE. No embasamento da porção norte da área mapeada suas direções são preferencialmente NNE-SSW (Foto 58) com mergulhos para SSE, e no embasamento sul as direções são preferencialmente NW-SE com mergulhos para SSW e NNE (Foto 59), ambos, tornando-se verticalizados nas proximidades das zonas de cisalhamento (Figura 7). Associado a essa fase deformacional tem-se a boudinagem de cristais de feldspatos em escala microscópica (Foto 60).



Foto 58: Granito pré a sin-brasiliano exibindo foliação Sn: 80/77SE. (UTM 311601/9293983).

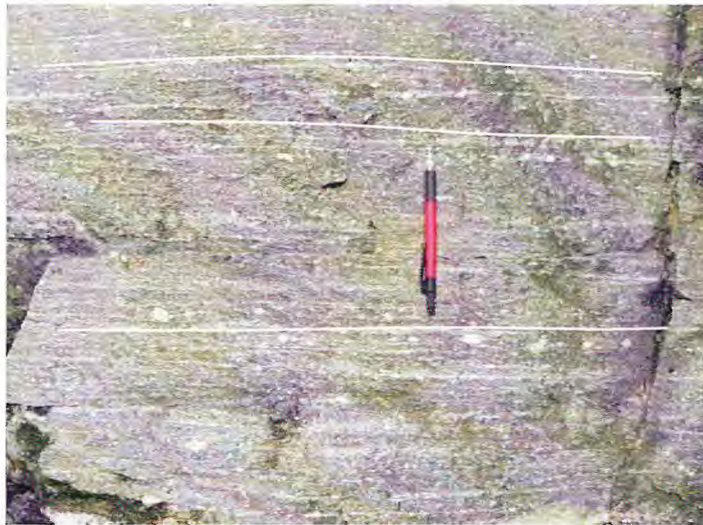


Foto 59: Foliação milonítica do granito sin a tardi-brasiliano. Atitude 280/78SW. (UTM 316767/9281012).

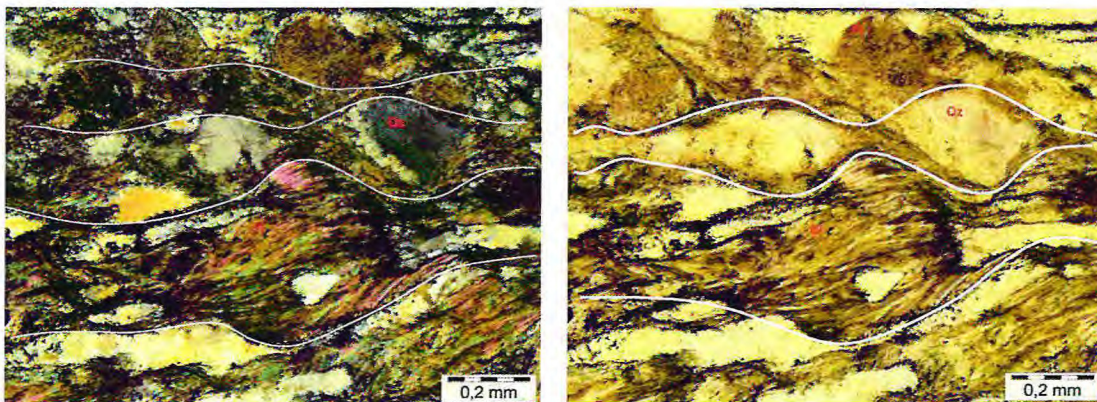


Foto 60: Fotomicrografia do granitóide pré a sin-brasiliano exibindo textura protomilonítica e cristais de quartzo boudinados.

Foi confeccionado um estereograma de contorno de polo para melhor visualização e análise do comportamento das foliações da área de trabalho (Fig.7).

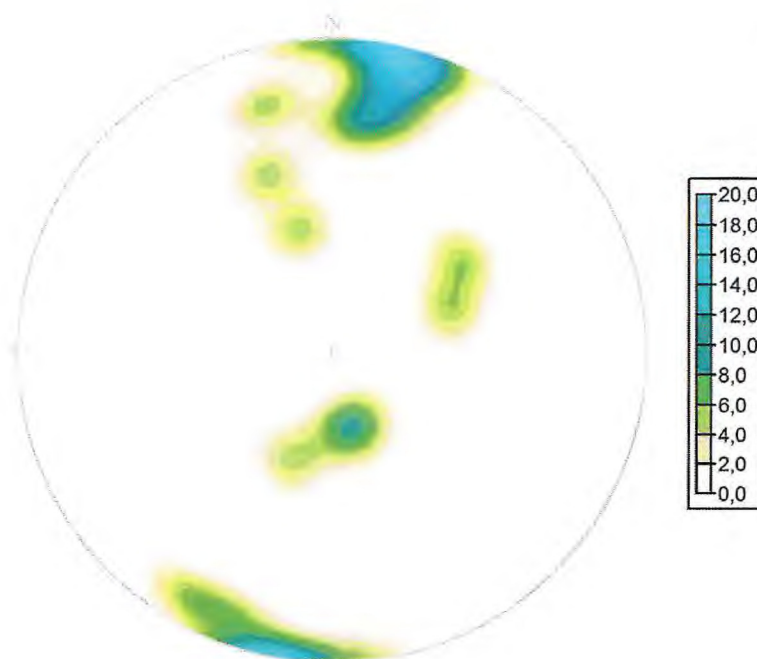


Figura 7: Estereograma de contorno de polos das foliações, mostrando mergulhos elevados para SSW e NNE. As direções principais dos planos de foliação mostram direções para W-E e NW-SE. 68 medidas.

6.2 Acamamento

As medidas de acamamento foram feitas na formação Angico Torto, que corresponde à unidade sedimentar dominante na área. Esse acamamento é caracterizado por estratificações plano-paralelas localmente dobradas (Foto 61).

Foram coletadas 21 medidas de acamamento. O estereograma construído para este conjunto de medidas mostra direções para NE-SW e E-W (Fig. 62), mergulhos de baixo a alto ângulo, com os mais baixos em torno de 15° e os mais altos em torno de 80° , este sendo observado, próximo a uma zona de falha. Contudo, a maior concentração dos pólos está para SSE (Fig. 63).



Foto 61: Intercalação de arenito e folhelho levemente dobrado da formação Angico Torto. (UTM 309621/9289798).

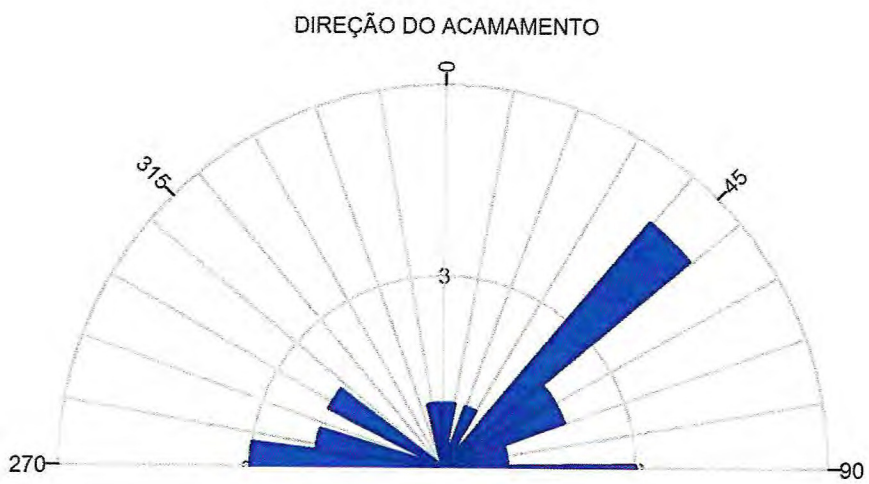


Figura 8: Diagrama de roseta para direções principais do acamamento, mostrando direções preferências para NE-SW e secundariamente para E-W.

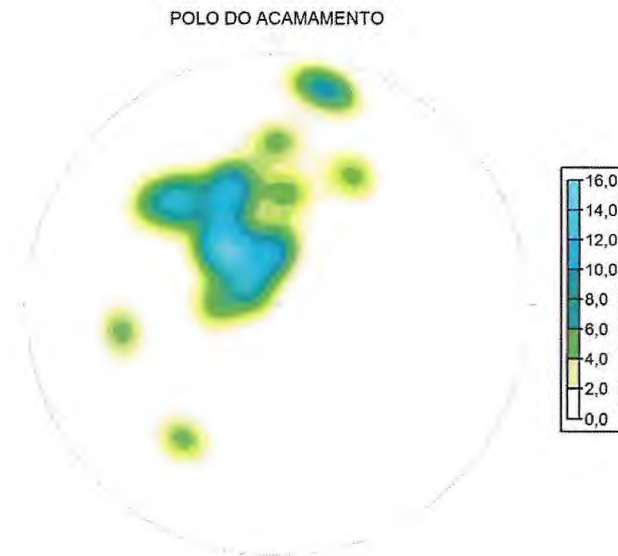


Figura 9: Diagrama de contorno do plano para o polo de acamamento, mostrando mergulho preferencial para SSE.

6.3 Metamorfismo

Exceto o quartzito do complexo Ceará que sem dúvida é uma rocha paraderivada, todos os outros litotipos do embasamento da Bacia do Cococi, e que aqui se encontram colocados como suítes brasilianas, são rochas ortoderivadas de difícil registro de minerais metamórficos índices. Entretanto, à exceção do metamorfismo regional que formou os quartzitos, provavelmente em condições de fácies anfíbolito, pode-se dizer que o principal tipo de metamorfismo que afetou as rochas do embasamento foi o dinâmico. Isso é mais desenvolvido junto às rochas graníticas próximas às zonas de cisalhamento. Durante a atuação deste metamorfismo, tais rochas foram submetidas a uma mudança de natureza textural, marcada, sobretudo pela diminuição dos grãos. Acompanhando este processo, verificou-se entrada de água no sistema, o que resultou na formação de minerais metamórficos de fácies xisto verde, particularmente oriundo dos feldspatos (plagioclásio e feldspato potássico), como minerais do grupo da argila e sericita, e cloritização dos minerais ferromagnesianos (biotita, anfíbólio e clinopiroxênio). Após a fase máxima da deformação e associado aos corpos graníticos mais jovens teve uma importante fase de alteração hidrotermal, marcada por silicificação e neoformação de clorita, carbonatos, fluorita, óxidos de ferro e sulfetos junto aos granitos hospedeiros.

Assim, pode-se dizer que as rochas do embasamento, representadas pelos granitos gnaissificados (ortognaisses milonitizados) foram dinamicamente deformadas e metamorfizadas no fácies xisto-verde alto ou anfibolito baixo durante a principal fase de deformação da Orogenia Brasileira, que gerou a foliação milonítica, predominante na área mapeada. E sucedendo esta fase, relacionado às intrusões graníticas mais jovens, teve um importante hidrotermalismo.

6.4 Estruturas Rúpteis

Nas rochas pré a sin e sin a tardi-brasiliano, constituintes do embasamento da bacia, verificam-se duas famílias de fraturas, com direções principais 120°Az e 165°Az (Fig. 10 e Foto 62). Essas fraturas refletem esforços iniciais de abertura da Bacia do Cococi em um regime frágil. Elas são observadas em todas as rochas do embasamento da bacia.

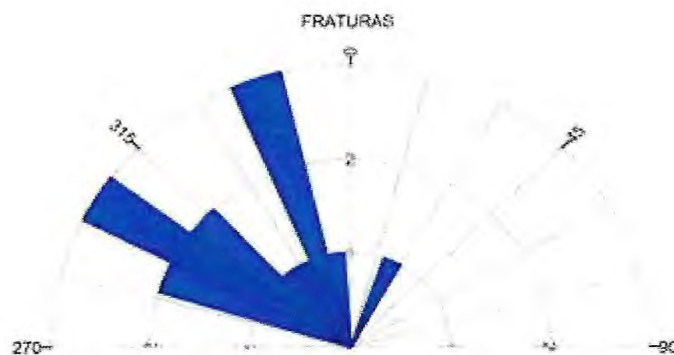


Figura 10: Diagrama de roseta com os planos preferências de fraturas das rochas do embasamento.

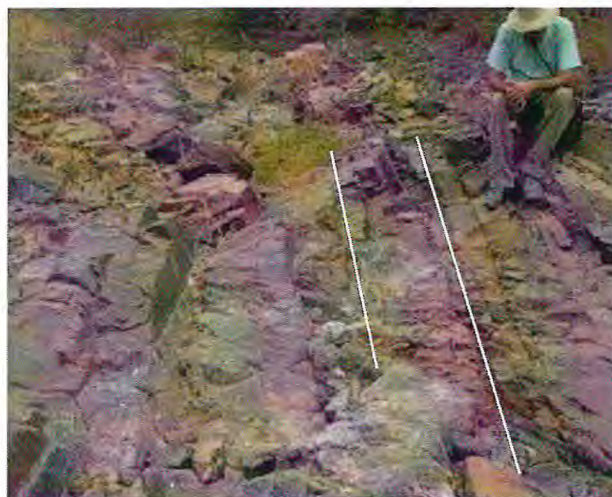


Foto 62: Álcali feldspato granito com fraturas sistemáticas de atitude 165/65NE (UTM 310802/9294637).

Na associação sedimentar da Bacia do Cococi verificam-se duas famílias de juntas, com direções principais NE-SW e NW-SE (Fig. 11 e Foto 63). Essas juntas são reflexo das reativações das zonas de fraquezas, caracterizando um dos últimos eventos tectônico da bacia.

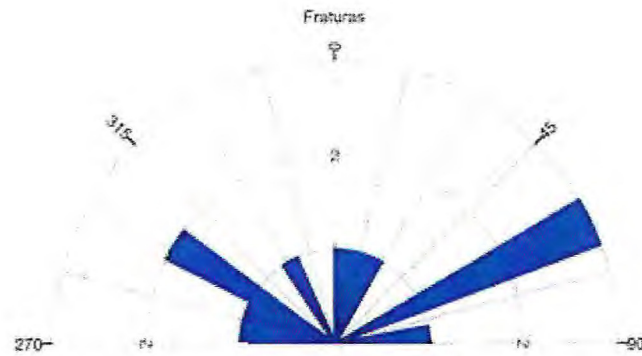


Figura 11: Diagrama de roseta com os planos preferências das juntas na Bacia do Cococi com direções NE-SW e NW-SE.

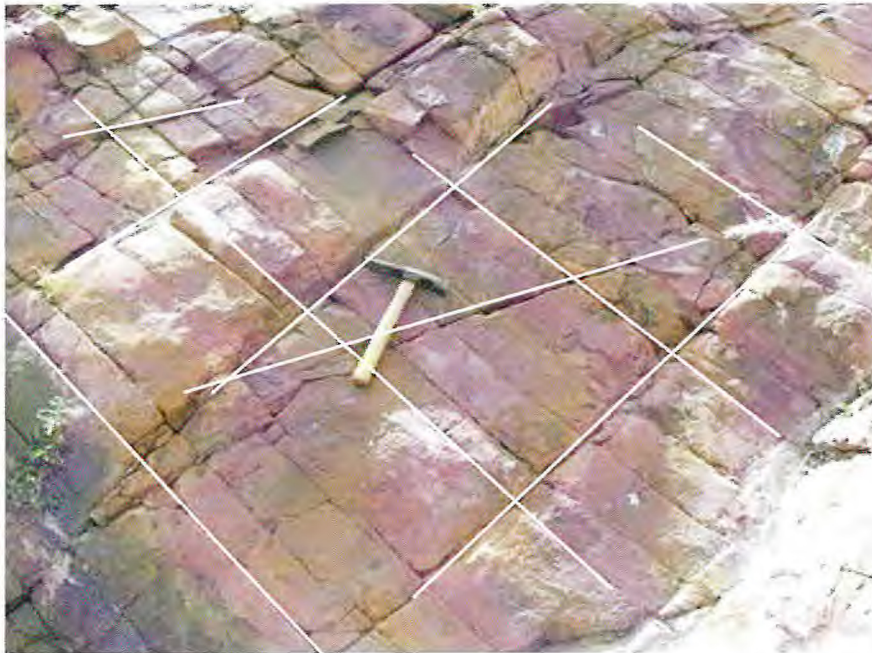


Foto 63: Arenito avermelhado da Formação Angico Torto com duas famílias de juntas. As juntas de direção 155°Az são sistemáticas e as juntas perpendiculares e oblíquas não são sistemáticas.

Capítulo 7

Geologia Econômica

7.1 Introdução

Na área mapeada foi possível observar várias ocorrências de cobre na forma de malaquita, calcocita e sulfeto associado aos granitos sin a tardi-brasiliano, que localmente encontram-se brechados e alterados hidrotermalmente. São brechas graníticas e brechas silicosas associada aos granitos.

Empresas de prospecção mineral e de mineração há muito tempo vem estudando as ocorrências de cobre na Bacia do Cococi. A Companhia Vale do Rio Doce e a Western Mining Corporation, são empresas de grande porte que realizaram trabalhos de cunho prospectivos na década de 90 na bacia. Os resultados desses trabalhos identificaram ocorrências de cobre, segundo as quais, sem expressões econômicas. Hoje a empresa Terrativa detém grande parte das áreas, onde as ocorrências de malaquita estão aflorando. Os resultados de prospecção dessa empresa têm sido bem expressivos e animadores do ponto de vista econômico.

A mineralização desses granitos é produto de processos hidrotermais, que consiste em soluções aquosas quentes enriquecidas em cloretos (Na, K) e íons como SO_4 , HS, H_2SO_4 , H_2S . Isso induz modificações metassomáticas químicas resultados do desequilíbrio químico entre a rocha encaixante e os fluidos hidrotermais, responsáveis pela modificação textural e composicional da rocha hospedeira.

Esse capítulo é dedicado à descrição das ocorrências e tipologias dos minerais minérios metálicos e seus processos de formação, principalmente dos minérios de cobre que ocorrem na área mapeada, e à elaboração de um modelo genético para sua formação.

7.2 Caracterização da rocha hospedeira da mineralização

As principais rochas hospedeiras da mineralização de cobre correspondem aos granitos cisalhados, brechados e alterados hidrotermalmente que ocorrem na porção sul

e norte da área, em contato direto, por meio de falhas normais, resultado da reativação das antigas transcorrências, com a sequência sedimentar da Bacia de Cococi.

As brechas graníticas hospedeiras da mineralização são marcadas por um expressivo processo de cloritização (Foto 64 e 65). Em lâmina delgada é possível identificar a associação mineral: clorita + fluorita + sericita \pm epidoto \pm carbonato \pm hematita, correspondendo ao estágio inicial da alteração hidrotermal (Foto 66 e 67).

Essas brechas são caracterizadas, em escala macro e microscopicamente, por fragmentos ângulos a subangulosos de granito e/ou granodiorito cimentados essencialmente por clorita (Foto 68). Associada a essa brechação tem-se *stockworks* preenchidos por clorita + fluorita + calcita \pm sulfetos, óxido e/ou hidróxido de ferro \pm malaquita (Foto 69) interpretados como o estágio mais avançado da alteração hidrotermal.

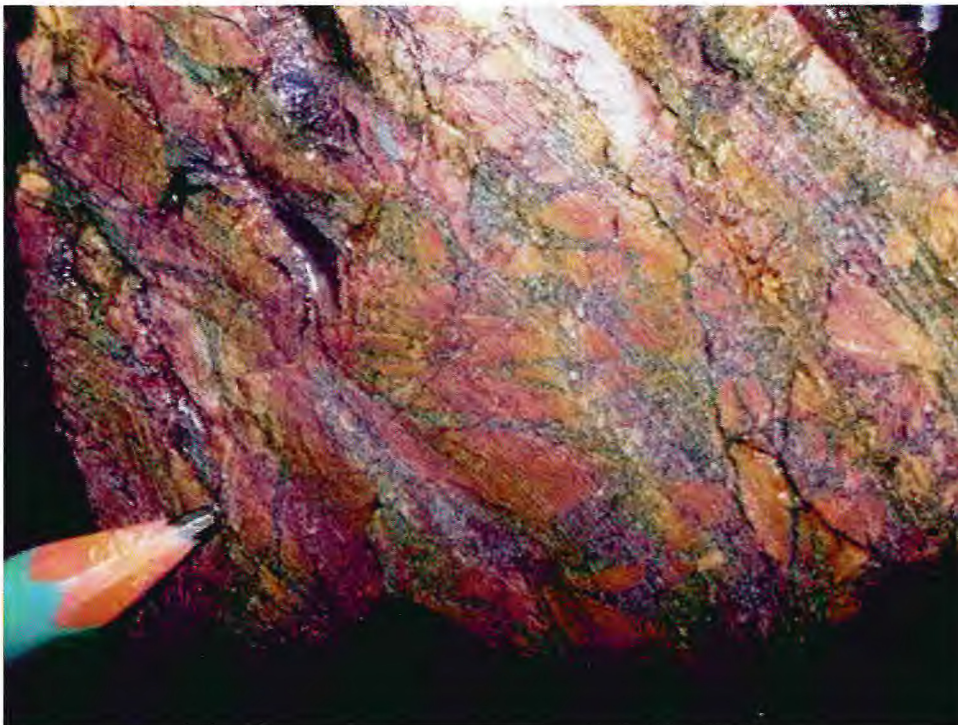


Foto 64: Granito sin a tardi-brasiliano brechado e cloritizado.

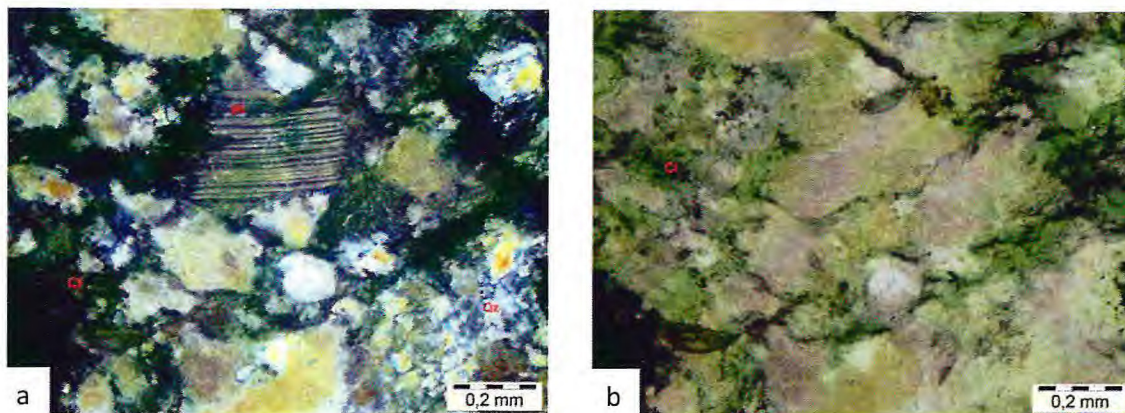


Foto 65: Granito cloritizado. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

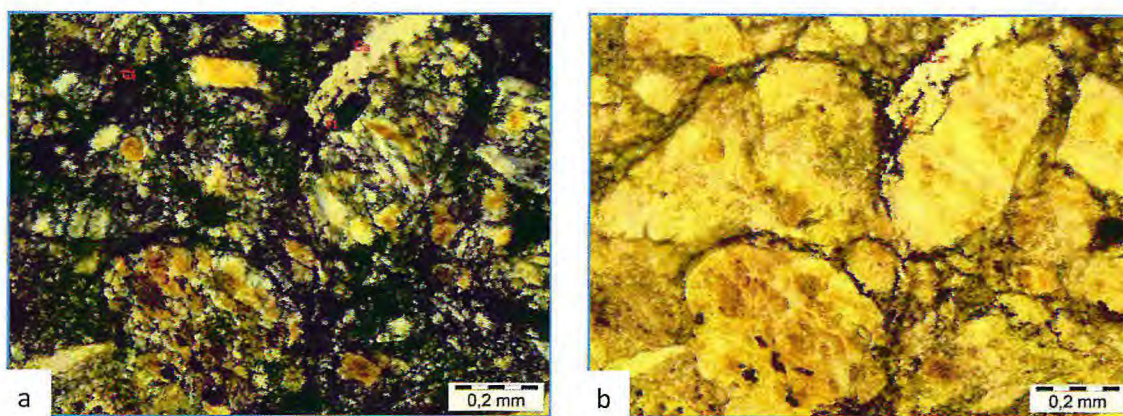


Foto 66: Brecha granítica com clorita, calcita e fluotita. (a) Luz polarizada. (b) Luz natural.

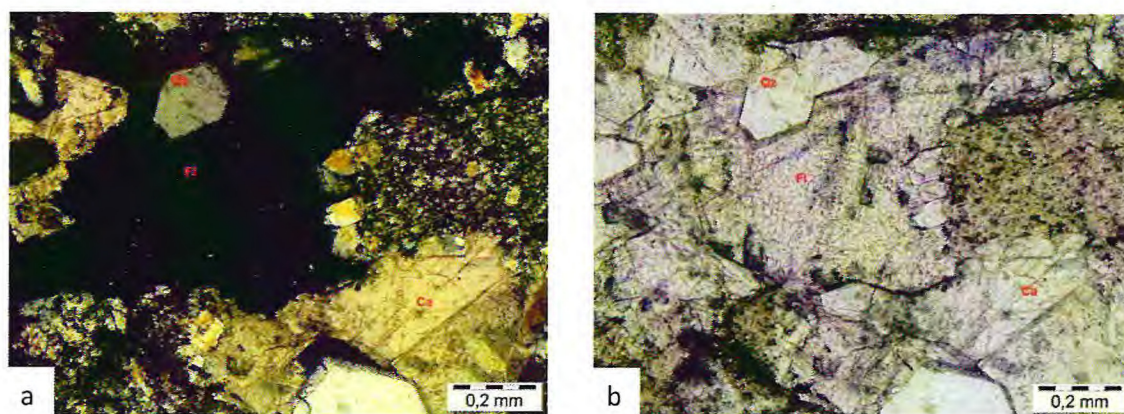


Foto 67: Brecha granítica com fluorita e calcita. (a) Luz polarizada. (b) Luz Natural.

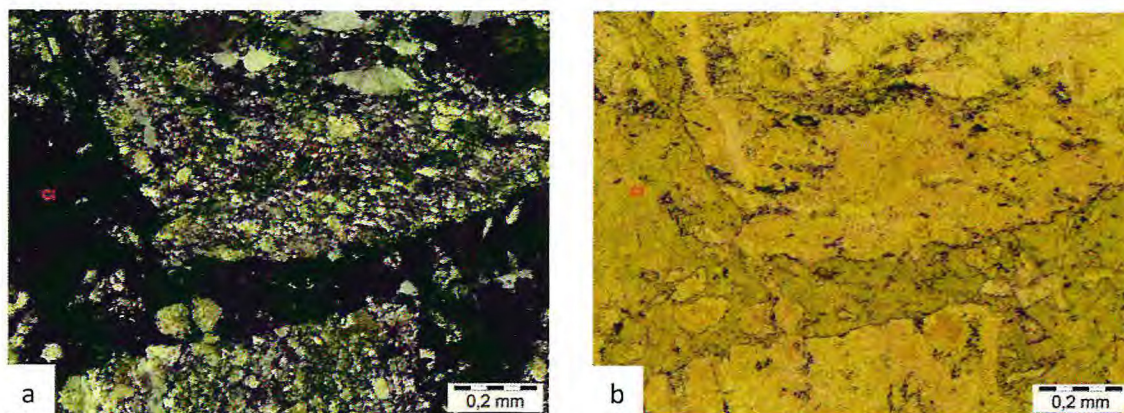


Foto 68: Fragmento do granito cimentado por clorita. (a) Luz polarizada. (b) Luz Natural.

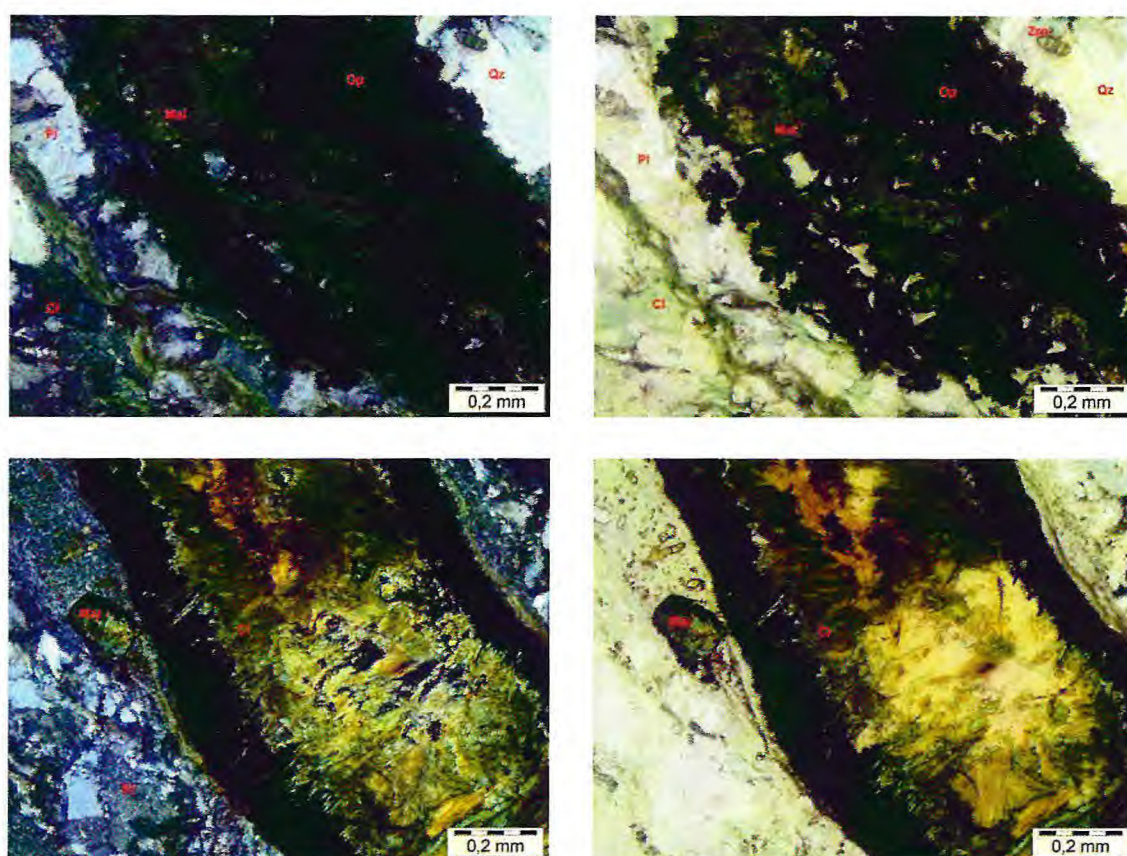


Foto 69: Granito hidrotermalizado com veios preenchidos por malaquita, clorita e opacos.

Em seção polida, os sulfetos são constituídos essencialmente por pirita que ocorre disseminada na massa silicosa. São em geral cristais sub a euédricos, com tamanho entre 1 e 2mm e encontram-se em geral fraturados e apresentando auréolas de hidróxido de ferro (Foto 70 e 71).

A calcopirita, que é subordinada em relação à pirita, aparece disseminada e encontra-se parcialmente alteradas para malaquita, calcosita e covelita (Fotos 72 e 73), que se distribuem principalmente ao longo das bordas e em fraturas da calcopirita.

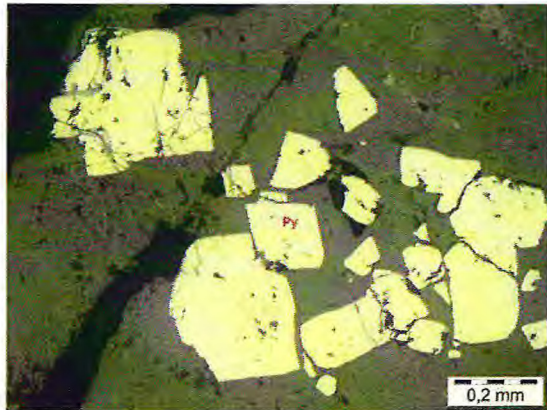


Foto 70: Cristais de pirita fraturada, parcialmente sendo substituída por goetita.



Foto 71: Cristal de pirita alterando para goetita.

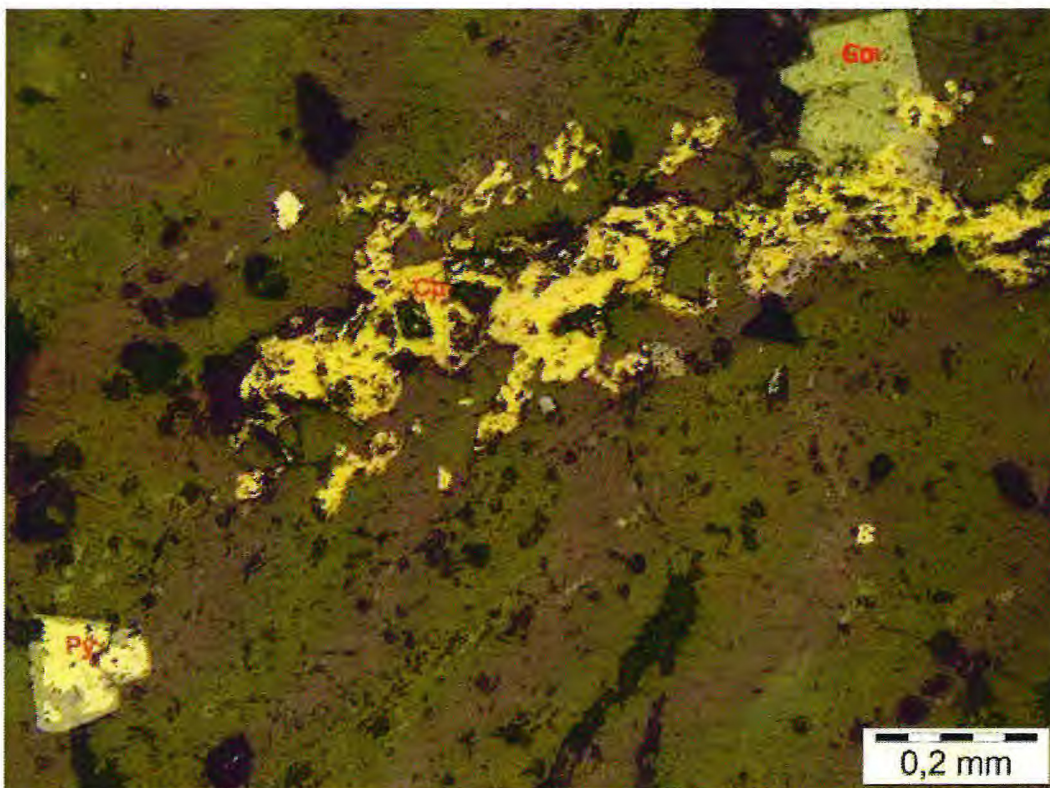


Foto 72: Cristal de calcopirita em meio à massa silicática. Notar que a calcopirita está levemente orientada e oxidada.

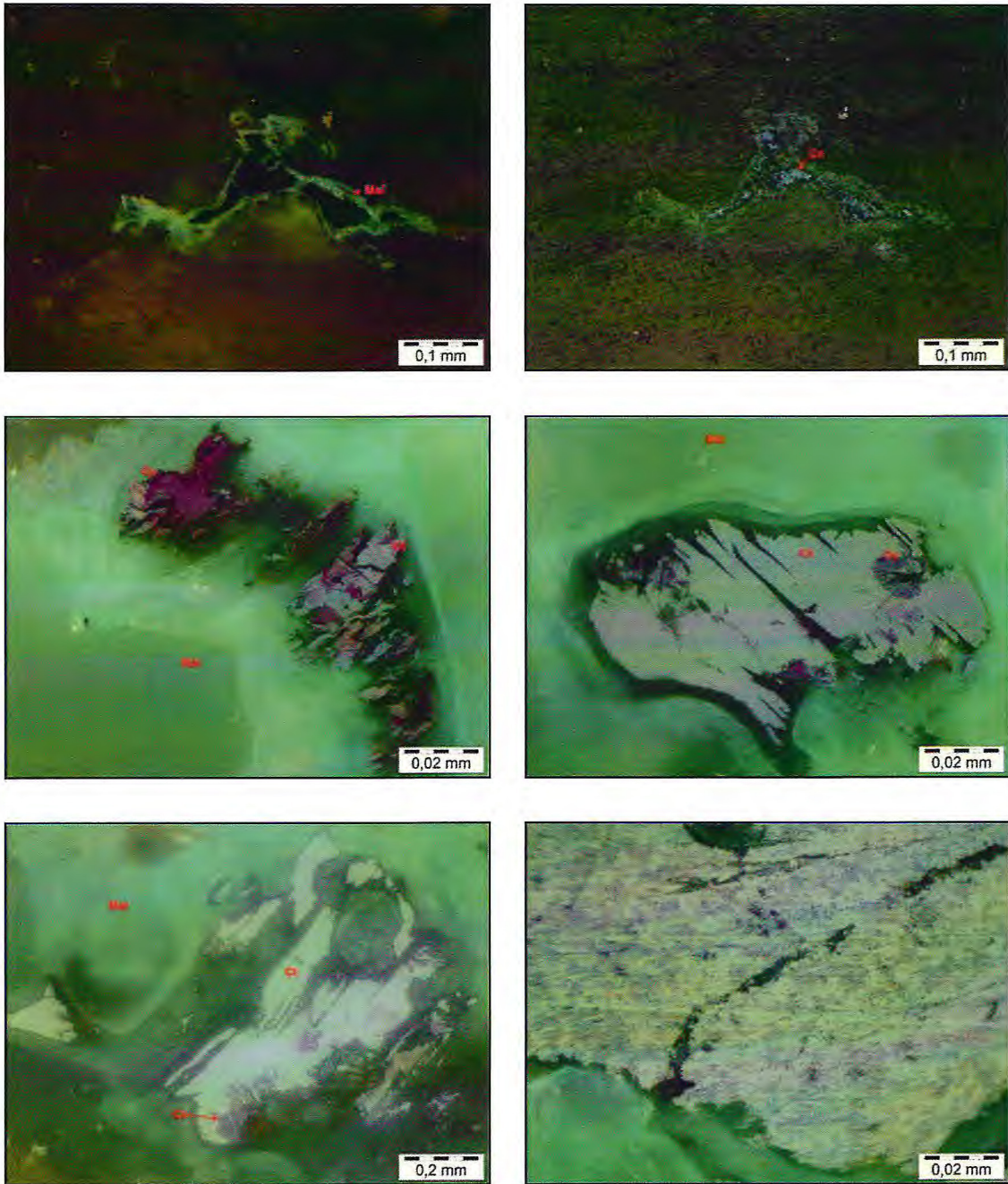


Foto 73: Cristais supergênicos, produtos de alteração da calcopirita, representados por malaquita, calcocita e covelita. São em geral anédricos com tamanhos entre 0,14 e 1mm. Cristais exibem microfraturas e oxidação.

As ocorrências de cobre são também encontradas nas brechas silicosas na forma de malaquita e calcopirita disseminados ou em planos de fraturas. Estão associadas aos granitos sin a tardi-brasiliano.

As brechas silicosas são encontradas, sobretudo, na localidade Cachoeira do Calisto, ocupando áreas pequenas. Essa brechação é local, podendo ser encontrada em outros locais adjacentes à área de trabalho, associada à barita.

Macroscopicamente, essas brechas silicosas possuem fragmentos de granito angulosos a subangulosos cimentados por cristais neoformados de quartzo e fluorita. Essas brechas apresentam ainda um bandamento superficial (Foto 74). Mineralogicamente, apresentam uma assembléia mineral composta por sericita + quartzo + plagioclásio + fluorita \pm clorita \pm calcita \pm malaquita (Foto 75). Representa a parte mais distal da mineralização.

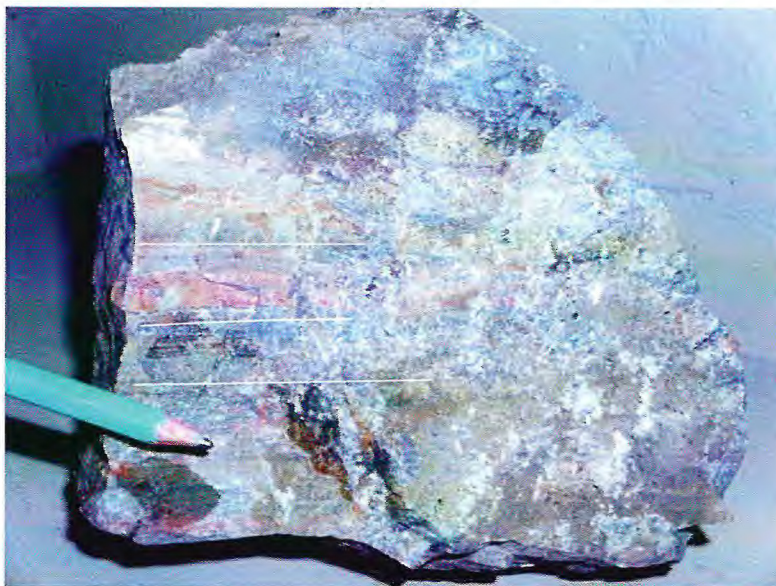


Foto 74: Brecha silicosa exibindo bandamento superficial.



Foto 75: Brecha silicosa com malaquita.

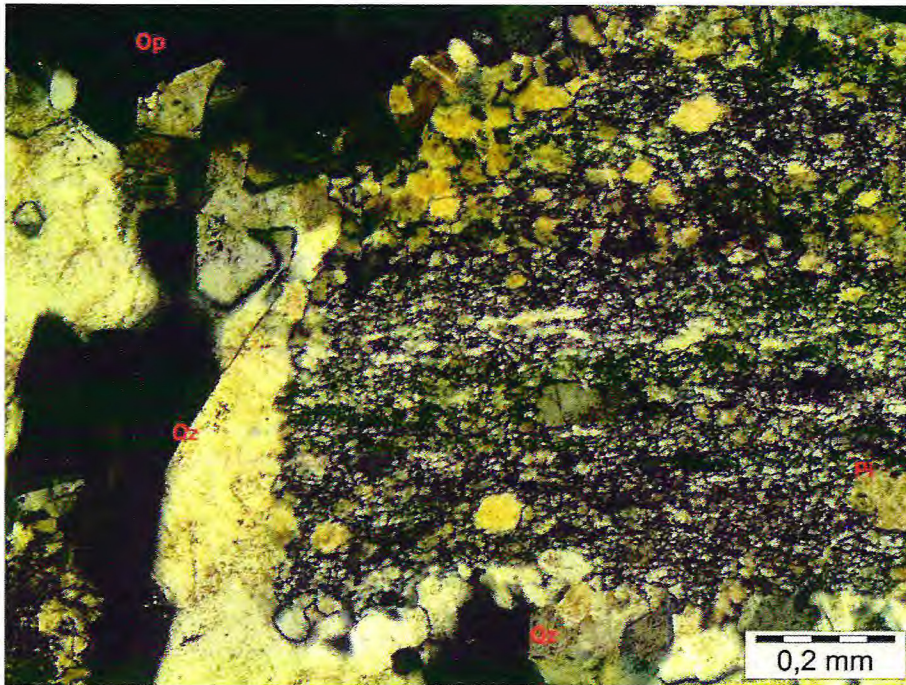


Foto 76: Brecha silicosa com fragmentos de rocha cimentada por sílica e opaco, subordinado.

Em seção polida é possível identificar vários veios preenchidos por hematita com as bordas alterando para limonita (Foto 77). Ao redor dos veios a malaquita se faz presente de maneira pervassiva (Foto 78).

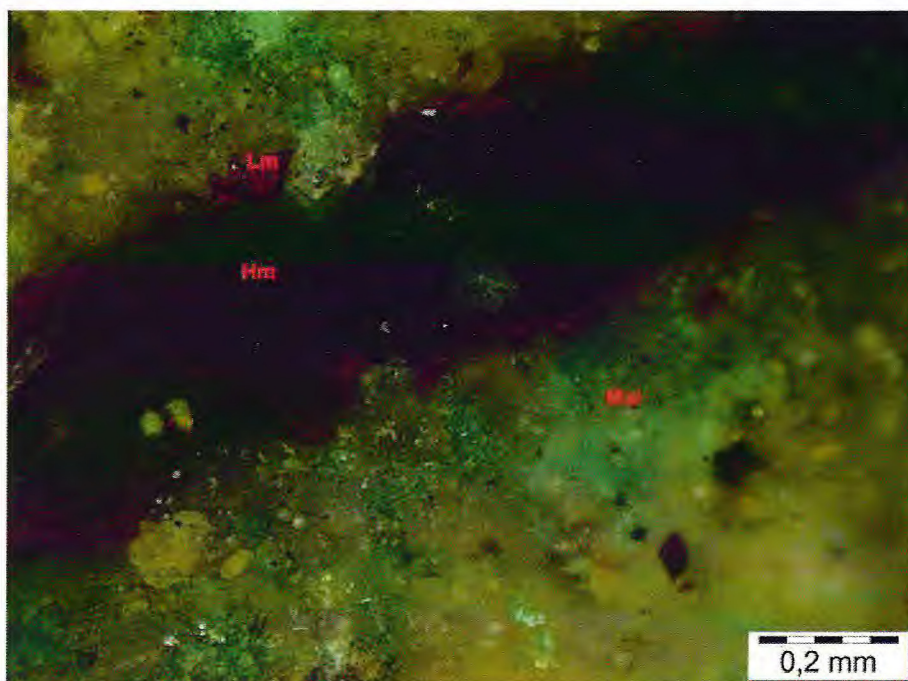


Foto 77: Brechas silicosas com veios preenchidos por hematita com bordas alterando para limonita. Ao redor tem-se malaquita.

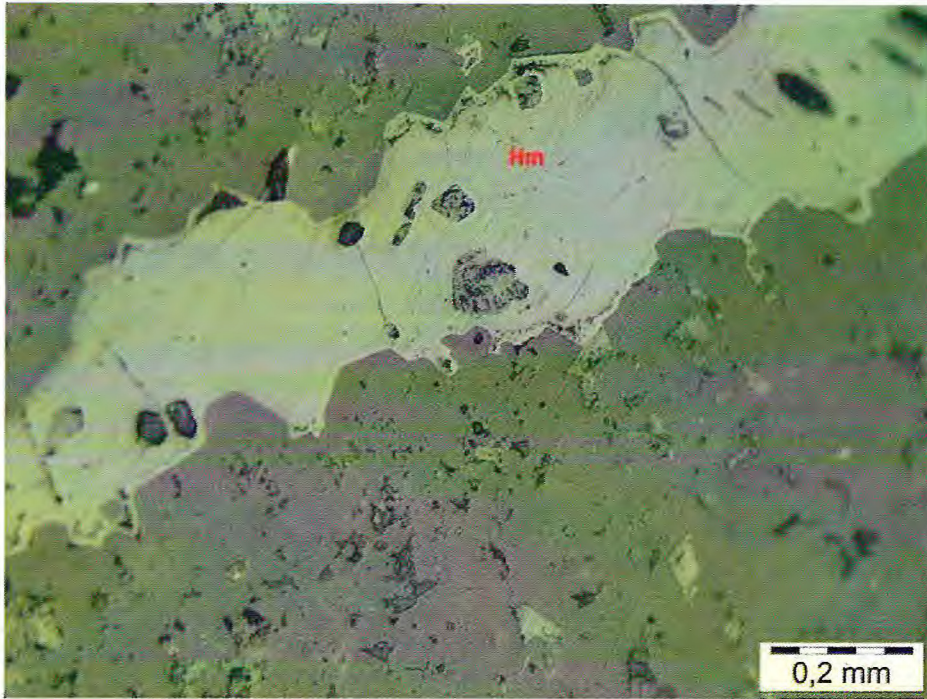


Foto 78: Brecha silicosa com veios de hematita oxidando nas bordas.

7.3 Modelo Genético

As bacias eo-paleozóicas da Província Borborema geralmente estão associadas à ascensão de plumas mantélicas que intrudem a crosta e induzem o processo de rifteamento crustal. Geralmente essa tafrogênese é acompanhada por vulcanismo bimodal. Esse vulcanismo não foi evidenciado na área de trabalho, embora sejam frequentes clastos de rochas vulcânicas básicas e ácidas nos conglomerados da Bacia. A ascensão dos corpos magmáticos mantélicos até a crosta é possível pelo fato das falhas aliviarem a pressão sob a câmara magmática subjacente. Assim estas falhas funcionam como condutos.

A hidrotermalização e as brechações da área estão intimamente ligadas aos processos tafrogenéticos que ocorrem no final do Brasiliano sucedendo as colisões brasileiras. Isso permitiu o desenvolvimento de zonas de fraqueza, a qual gerou falhas normais profundas que controlam a Bacia do Cococi.

A gênese é iniciada com a nucleação de falhas normais sobre uma pluma magmática, onde o líquido que estava aprisionado tende atingir a superfície da crosta e se depositar ao longo dessas falhas. Concomitantemente são geradas bacias que são preenchidas por sedimentos clásticos. Durante a sedimentação, essas bacias são

reativadas por eventos tectônicos (brasiliano) tornando ativo um foco térmico sob a zona de falha, que inicia uma intensa atividade hidrotermal. Esse foco térmico é ampliado pelas intrusões graníticas mais recentes ao longo das zonas de falhas.

A água meteórica percola essas falhas e uma vez aquecida em profundidade inicia um processo de convecção acentuando o processo de hidrotermalismo que culmina com um fraturamento hidráulico e metassomatismo. Os fluidos quentes ricos em metais ou em sílica precipitam formando as brechas, devido à ebulição instantânea desses fluidos causada pelas sucessivas implosões freáticas. Essa percolação de fluidos causaria a lixiviação das rochas encaixantes e a neoformação de microgeodos de quartzo (*vuggy* quartzo), precipitando preferencialmente nas zonas de fraqueza e causando a brechação nas porções mais distais no granito onde precipita o cobre. O arenito também se encontra afetado pelas brechas silicosas e enriquecido em óxido/hidróxido de ferro (Foto 79). Entretanto sem valor econômico.

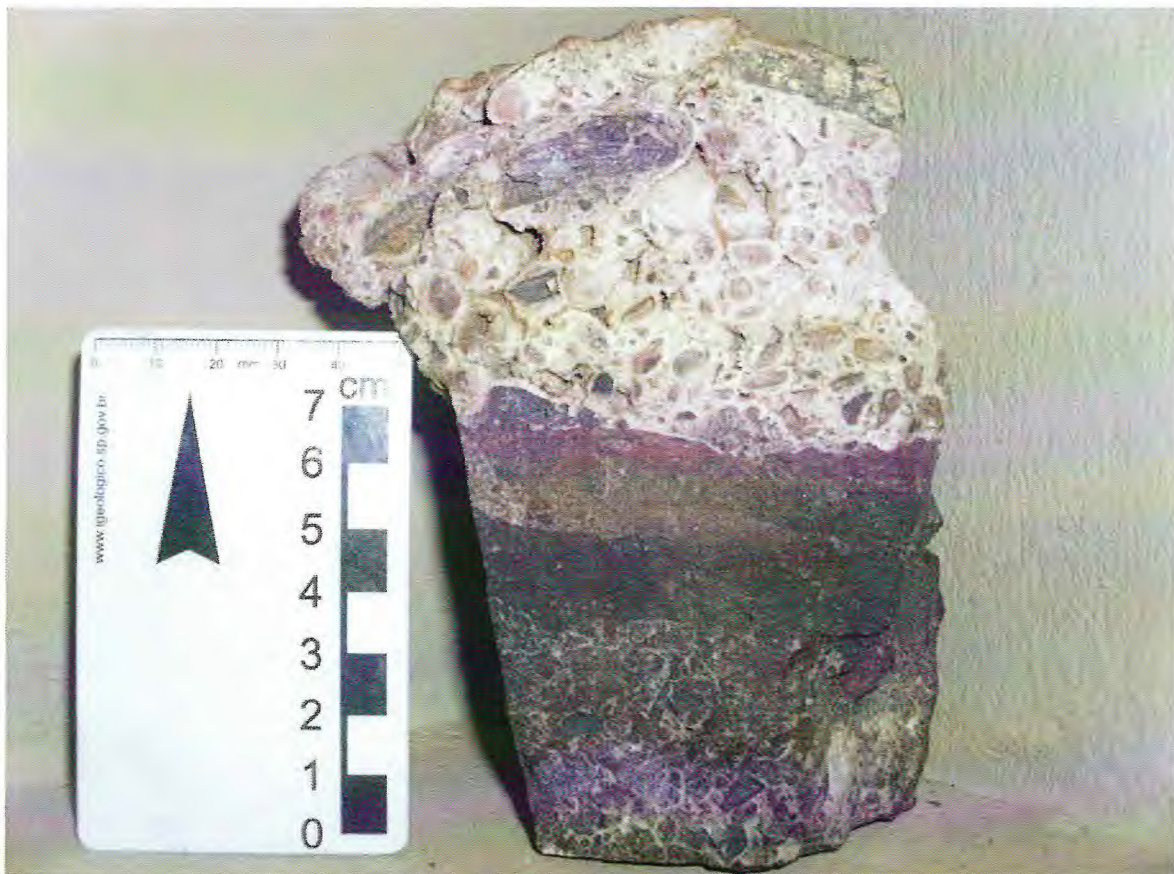
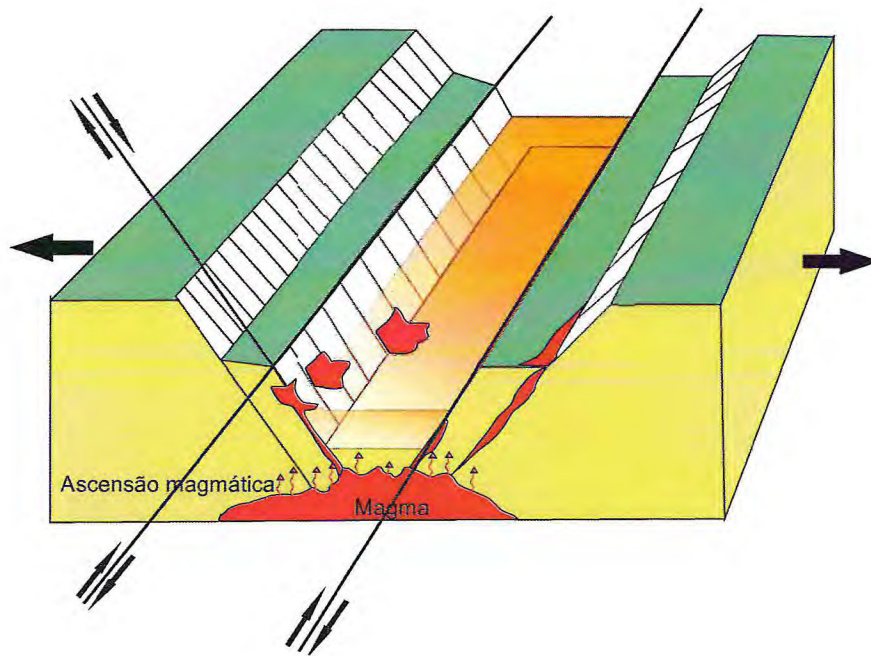
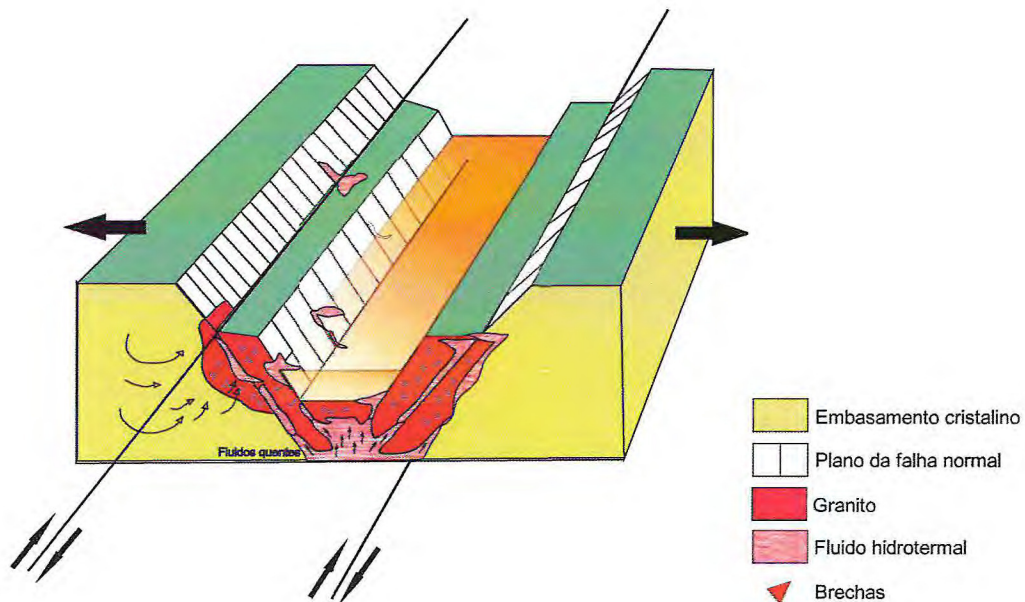


Foto 79: Arenito da formação melancia brechado.

A seguir segue um esquema ilustrando o que ocorrerá na área:



- Formação da bacia do Cococi e sedimentação por falhas normais.
- Ascensão magmática e derrames na superfície.



- Início da atividade hidrotermal.
- Fraturamento hidráulico produzem varias brechas (triângulos).
- Atividade hidrotermal e intenso metassomatismo (vermelho com branco) ao longo de falhas normais.
- Infiltração de fluidos na pilha sedimentar.

7.4 Algumas considerações

O granito hospedeiro da mineralização, bem como o mesmo brechados são providos de minerais acessórios como sulfetos (pirita e calcopirita), fluorita, calcita, entre outros, o que indica tratar-se de granitos relativamente ricos em fluidos mineralizantes.

A mineralização possui o controle estrutural, caracterizado por falhas e fraturas que servem de conduto aos fluidos hidrotermais, proporcionando à formação de filões. As encaixantes são silicificadas junto ao contato com o filão e em volta ocorrem às alterações propilítica quando próximas aos condutos e sericítica nas partes mais distais. Essas zonas de alteração expandem-se quando o conduto dos fluidos atravessa rochas permeáveis. Nesses locais o fluido entra em ebulição, gerando o fraturamento hidráulico e posteriormente os *stockworks*.

Capítulo 8

Evolução Geológica

Diversos modelos de evolução para esta bacia têm sido sugeridos desde a década de 50 são eles: Grábens preenchidos por molassas (Kegel *et al.*, 1958; Costa *et al.*, 1973; Costa *et al.*, 1979; Brito Neves, 1975; Nascimento & Gava, 1979; Melo, 1978; Cavalcante *et al.*, 1983; Brito Neves *et al.*, 1984); bacias intermontanas preenchidas por sedimentos molássicos (Almeida, 1967; 1969; Danni, 1972; Mabesoone *et al.*, 1981); grábens preenchidos por seqüências vulcano-sedimentares (Parente & Fuck 1987; Quadros *et al.*, 1994; Quadros & Abreu, 1995); bacias *pull-apart* ou *rombo-graben* (Gorayeb *et al.*, 1988; Abreu *et al.*, 1988; Parente *et al.*, 1990; Vasconcelos *et al.*, 1998), bacias de extrusão (Brito Neves, 1998; 2002); rifte ativado (Oliveira 2000; 2001; Oliveira & Mohriak, 2003).

Na área mapeada, a Bacia do Cococi, é desenvolvida sobre um embasamento composto por rochas meso a neoproterozóicas, representado pelos quartzitos da Unidade Arneiroz e pelas rochas graníticas neoproterozóicas pré a sin-brasilianas, é controlada por falhas normais subsidiárias e/ou relacionadas ao final de duas zonas de cisalhamento dúcteis (Zona de Cisalhamento Senador Pompeu, localizada a sul e a Zona de Cisalhamento Sabonete Inharé localizada a norte. Datações realizadas pelo método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em várias das zonas de cisalhamento que afetam o Domínio Setentrional da Província Borborema por Féraud *et al.*, 1992, entre as quais as supracitadas, indicam seu funcionamento entre 580 e 500Ma. Isso permite dizer que ao final do Neoproterozóico e início do Paleozóico essas zonas de cisalhamento foram reativadas em condições dúcteis-frágeis ou frágeis tardias, gerando o rifteamento que resultou na abertura desta bacia. Associado ao funcionamento dessas zonas, verificou-se as intrusões dos granitos tardi a pós-tectônicos, responsáveis pelos importantes processos de alteração hidrotermal e mineralizações presentes no contexto da bacia.

A sua sedimentação inicial, fase sin-rifte, que é representada pela seqüência clástica imatura da Formação Angico Torto, caracterizada por brechas conglomeráticas, parece evoluir a partir de um sistema de leques aluviais de ambiente continental, que evolui ou grada lateralmente para um ambiente lacustre, sujeito a inundações episódicas

marinhas (intercalação de arenitos, siltitos, folhelhos e calcário, exibindo estratificações espinha de peixe) da Formação Cococi.

A fase final da evolução desta Bacia, caracterizada pela sequência clástica imatura da Formação Melancia, conglomerados polimíticos, parece resultar também da deposição de leques aluviais formados a partir da reativação e soerguimento dos blocos crustais, com retrabalhamento da sedimentação inicial e deposição em sistema flúvio-deltáico. A brechação do granito tardi a pós-brasiliano se desenvolve provavelmente durante essas últimas reativações.

O último evento que completa a estruturação da Bacia do Cococi é a superposição de sedimentos silurianos da Sinéclise Parnaíba.

Capítulo 9

Conclusões

As informações adquiridas, a partir do mapeamento geológico em escala 1:25.000, permitiram uma melhor caracterização das unidades litoestratigráficas e compreensão da tipologia do minério e processos metalogenéticos.

Do ponto de vista cronolitoestratigráfico foram mais bem definidas as unidades litoestratigráficas na área de trabalho. Essas unidades são reconhecidas da base para o topo: Unidade Arneiroz, suítes brasileiras neoproterozoicas, Grupo Rio Jucá e o Grupo Serra Grande.

A Unidade Arneiroz é representada por muscovita quartzito com ou sem granada. Esses quartzitos se destacam em imagens de radar, satélite e geofísica sendo assim possível delimitar seu corpo na porção sul da área de trabalho em uma faixa estreita alongada de direção NW-SE.

Na área de trabalho as suítes brasileiras são constituídas por granitoides pré a sin, sin a tardi e tardi a pós-brasilianos. A suíte pré a sin-brasiliano é constituída por granitos, monzogranitos, granodiorito e tonalitos ambos gnaissificados, cisalhados com forte mergulho. Os granitos e granodioritos sin a tardi-brasiliano ocorrem em contato tectônico com a sequência sedimentar da Bacia do Cococi estando milonitizado, alterado hidrotermalmente, brechado localmente e mineralizado. A suíte tardi a pós-brasiliano é representada por quartzo sienito que ocorre na borda norte da bacia em forma de stocks alongados, intensamente fraturado ocasionados por falhas normais que controlam a bacia e exibindo estrutura *stockworks*.

Os diques plutônicos são representados por álcali feldspato granitos e monzogranitos gnaissificados e milonitizados. Ocorrem intrudindo os granitos pré a sin-brasiliano na porção norte da área de trabalho.

Os diques vulcânicos são representados por traquitos, sendo este não milonitizado, e riolitos, milonitizados os quais se apresentam concordantes aos diques plutônicos. Esses diques vulcânicos possuem xenólitos das rochas da suíte sin a pré-brasiliano.

Na sequência molássica do Grupo Rio Jucá na Bacia do Cococi foram identificadas as três formações sendo a Formação Angico Torto a de maior expressão da área mapeada e a Formação Cococi e Melancia com raros afloramentos.

Foi reconhecido o arenito conglomerático da Formação Jaicós do Grupo Serra Grande em contato e/ou recobrando os quartzitos da Unidade Arneiroz.

Em relação ao metamorfismo as rochas do embasamento, representadas pelos granitos gnaissificados (ortognaisses milonitizados) foram dinamicamente deformadas e metamorfizadas no fácies xisto-verde alto ou anfibolito baixo durante a principal fase de deformação da Orogenia Brasileira, que gerou a foliação milonítica, predominante na área mapeada. E sucedendo esta fase, relacionado às intrusões graníticas mais jovens, ocorre um importante hidrotermalismo.

Estruturalmente foram reconhecidas uma fase de deformação para o embasamento da bacia. Essa fase foi caracterizada por uma transcorrência destal que desenvolveu foliações de direção WNW-ESE (Sn) e verticalização das camadas.

O regime rúptil da área foi responsável pela formação da Bacia do Cococi. Esta através de falhas normais desenvolvidas durante a reativação de antigas zonas de cisalhamento. Associada a essas zonas de falhas fora posicionada a mineralização de cobre, junto aos granitos sin a tardi-tectônicos encontrados na área de trabalho.

Os hidrotermalismo e as brechas que se encontram associados aos granitos sin a tardi-brasiliano localizados na Bacia do Cococi, apresentam forte potencialidade em de Cobre. Considerando que a mineralização de cobre mostra uma estreita relação com a essas rochas graníticas que se encontram brechadas e alteradas hidrotermalmente pode-se dizer que o principal controle dessa ocorrência é do tipo lito-estrutural, cuja origem está associada ao plutonismo desencadeado ao longo das zonas de cisalhamento que limitam a bacia. Isso reforça também a hipótese que as bordas de bacias, particularmente, do tipo rifte, correspondem às regiões mais favoráveis às concentrações de fluidos mineralizantes, que podem ser tanto de origem vulcanogênica quanto oriundo das rochas sedimentares (fluidos meteóricos e/ou conatos) que mostram preferência por locais e/ou zonas de menor pressão.

Capítulo 10

Bibliografia

- ALMEIDA, F.F.M. 1969: Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. 23 Congresso Brasileiro de Geologia, Anais 29-40.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977. *Atas...*Campina Grande, SBG, p. 363-391.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; NEVES, B.B.B.; FUCK, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth Science Reviews*, v 17, p 1-29.
- ALMEIDA F.F.M. 2004, *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida*. Organizadores: Virginia Mantesso-Neto, Andre Bartoreli, Celso Dal Ré Carneiro, Benjamin Bley de Brito-Neves. 647p. São Paulo.
- ALMEIDA, A.R. 1998. O magmatismo Parapuí e a evolução geológica da Bacia de Jaibaras. Titular Professor Thesis, DEGEO/UFC.
- ARTHAUD, M.H. ,2007,. *Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da Sedimentação à Colisão Continental Brasileira*. Tese de Doutorado. Inst. Geoc., UNB, Brasília, 33-50.
- BIONDI, J.C. ,2003, *Sistema Hidrotermal Magmático – Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros*. Ed. Oficina de Textos.
- BRITO NEVES, B. B. ; SANTOS, E. J. ; SCHMUS, W. R. V. . Tectonic History of the Borborema Province. In: Umberto Cordani; Edson José Milani; Antonio Thomaz Filho; Diogenes de Almeida Campos. (Org.). *Tectonic Evolution of south america*. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000, v. unico, p. 151-182.

CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., MEDEIROS, M.F., PAIVA, I.P., GOMES, F.E.M., CAVALCANTE, S.N., CAVALCANTE, J.E., MELO, A.C.R., DUARTE NETO, V.C., BENEVIDES, H.C. 2003. Mapa Geológico do Estado do Ceará – Escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

DNPM-DGM. Rio de Janeiro.

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. PhD. Thesis, Dept. of Geology, Kansas University, USA., 164p.

FETTER, A.H., VAN SCHMUS, W.R., SANTOS, T.J.S., ARTHAUD, M., NOGUEIRA NETO, J.A. 2000. U-Pb 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*, 30, 102-106.

FÉRAUD, G.; ALRIC, V.; FORNARI, M.; BERTRAND, H.; HALLER, M. 1999. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the Jurassic volcanic province of Patagonia: migrating magmatism related to Gondwana break-up and subduction. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 172, p. 83-96.

GOMES, J.R.C., VASCONCELOS, A.M., TORRES, P.F.M. 2000, Programa de Levantamento Geológico do Brasil, Folha Jaguaribe 1: 500.000.

MORAES L.J.DE, BARROS F.C., RAMOS E. 1963. Reconhecimento fotogeológico da região Nordeste do Brasil, folhas AS.24-V e SB.24-C-D-H-I-J-N-O-T-U e W (escala 1/250.000).

OLIVEIRA J.C, FORTES F.P., FERREIRA L.A., BARROS F.L. 1974. *Projeto Cococi*. Mapa Geológico escala 1/250.000. Recife, DNPM-CPRM, 150 p.

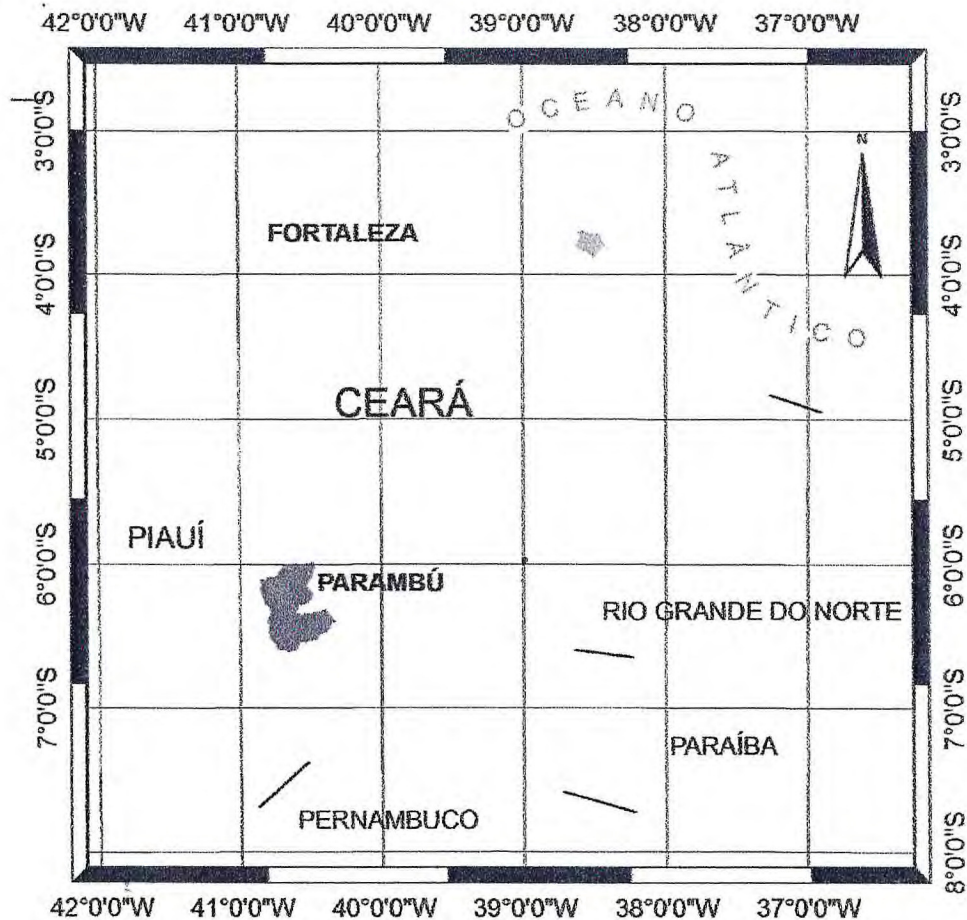
- PARENTE, C.V., ARTHAUD, M.H., 1995, O sistema Óros-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*. V.25. Nº 24, 297 - 306 .
- PARENTE, C. V.; SILVA FILHO, W. F.; ALMEIDA, A. R., 2004, Bacias do Estágio de Transição do Domínio Setentrional da Província Borborema (Parte Integrante Do Texto Bacias Do Estágio Da Transição Da Plataforma Sul-Americana. In: Virgínio Manteso Neto; Andrea Bartorelli; Celso Dal Ré Carneiro; Benjamin Bley de Brito Neves. (Org.). *O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. v. 1, 525 – 536.
- SANTOS, E. J. & BRITO NEVES, B.B. 1984. Província Borborema. In: *O Precambriano do Brasil* F.F.M. de Almeida & Y. Hasui (eds.), Ed. Blucher, Brasil, p 123-186
- TROMPETTE, R. R. . Neoproterozoic (600 Ma) aggregation of Western Gondwana: a tentative scenario.. *Precambrian Research*, Inglaterra, v. 82, p. 101-112, 1997.

MAPA GEOLÓGICO 1:25.000

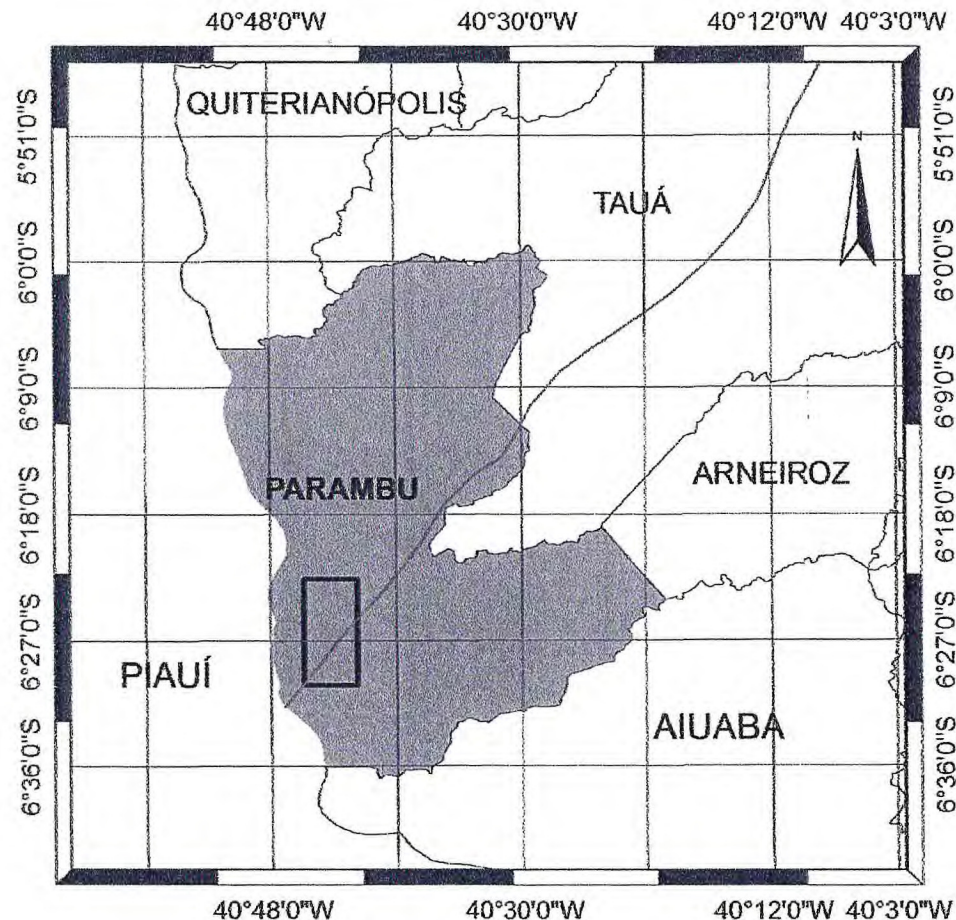
DO SETOR OESTE DA BACIA DO COCOCI

MUNICÍPIO PARAMBU

LOCALIZAÇÃO DE PARAMBU



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA MAPEADA



Fusão MDT X Litologias

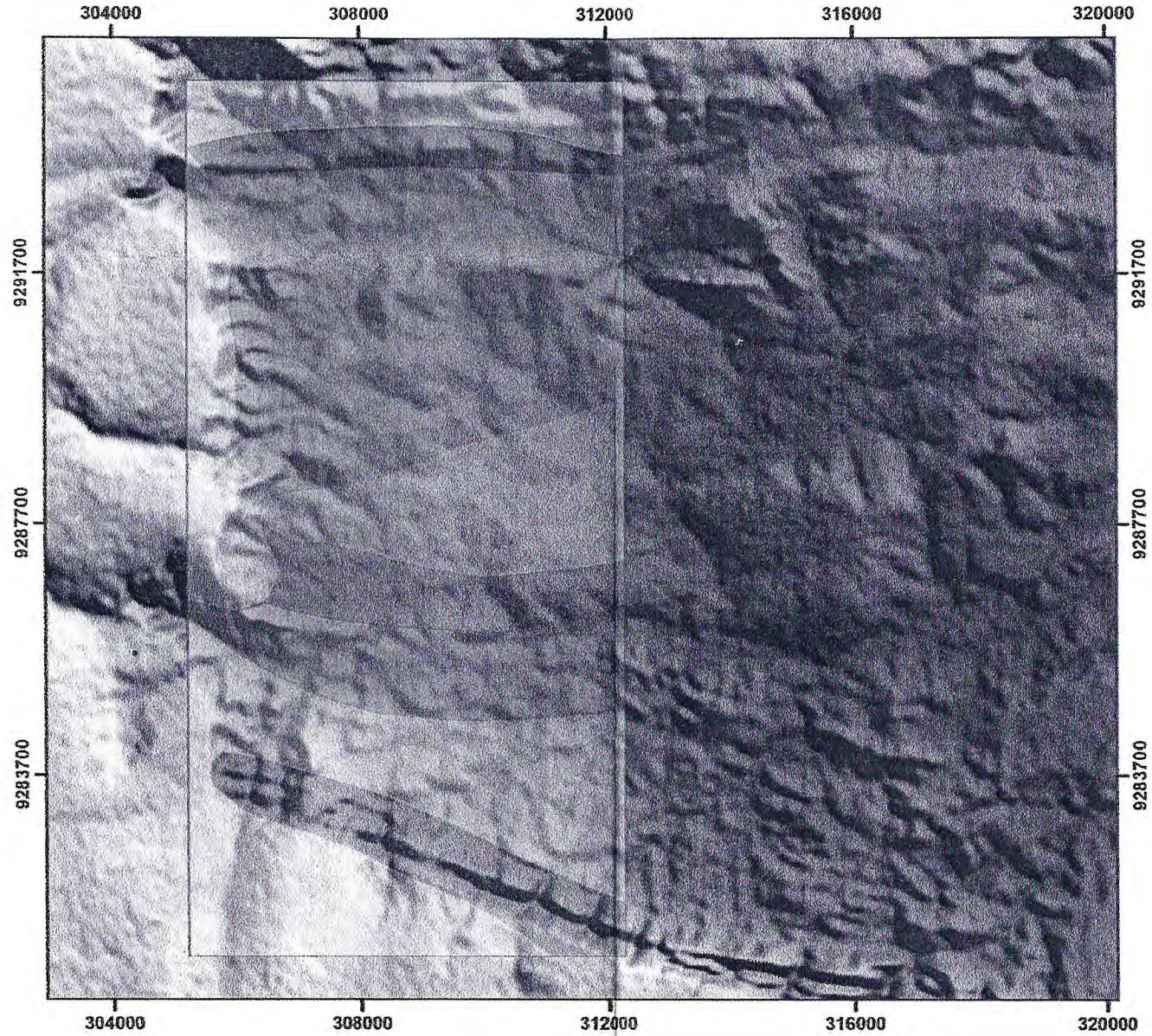
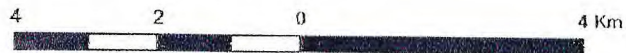
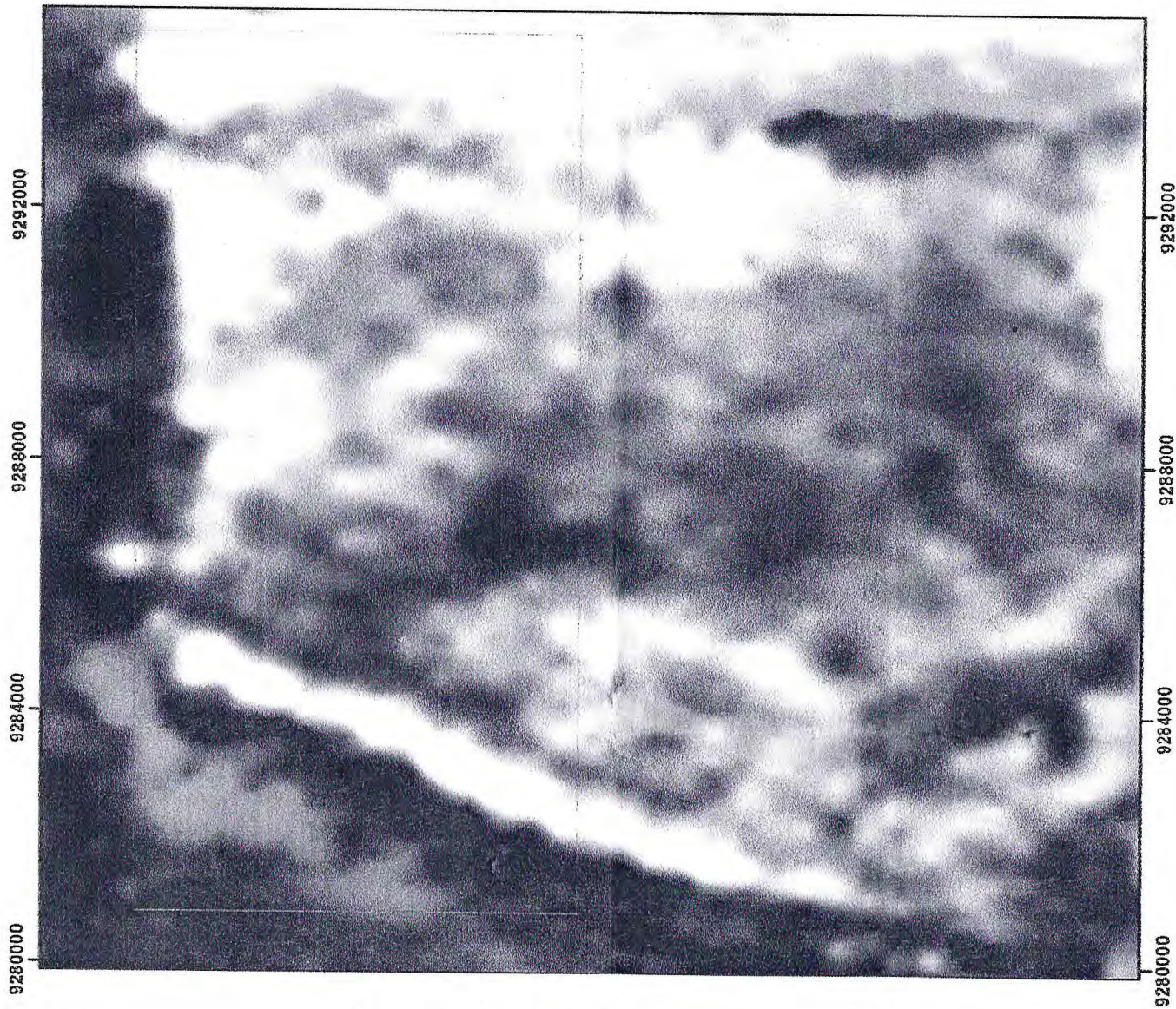
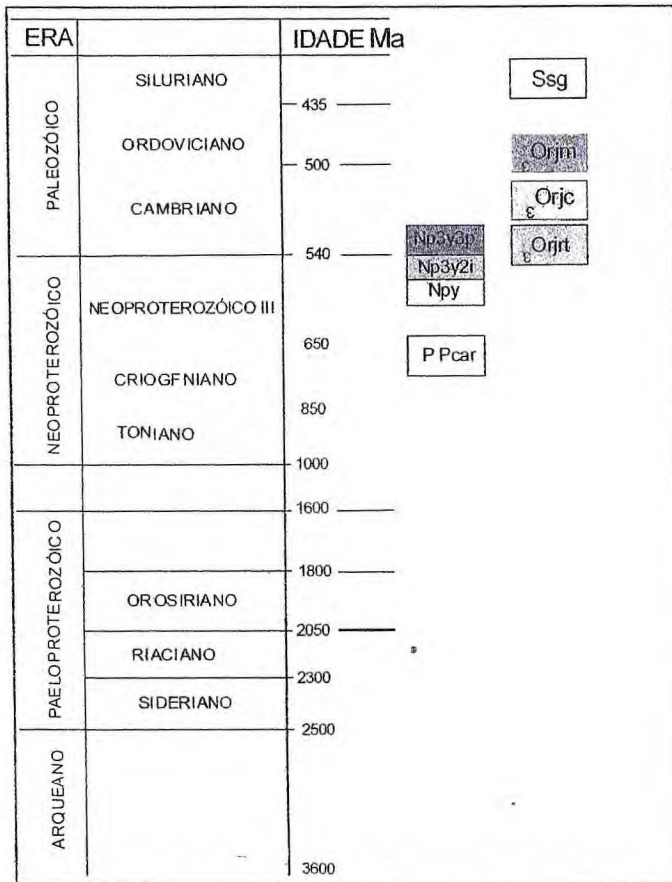
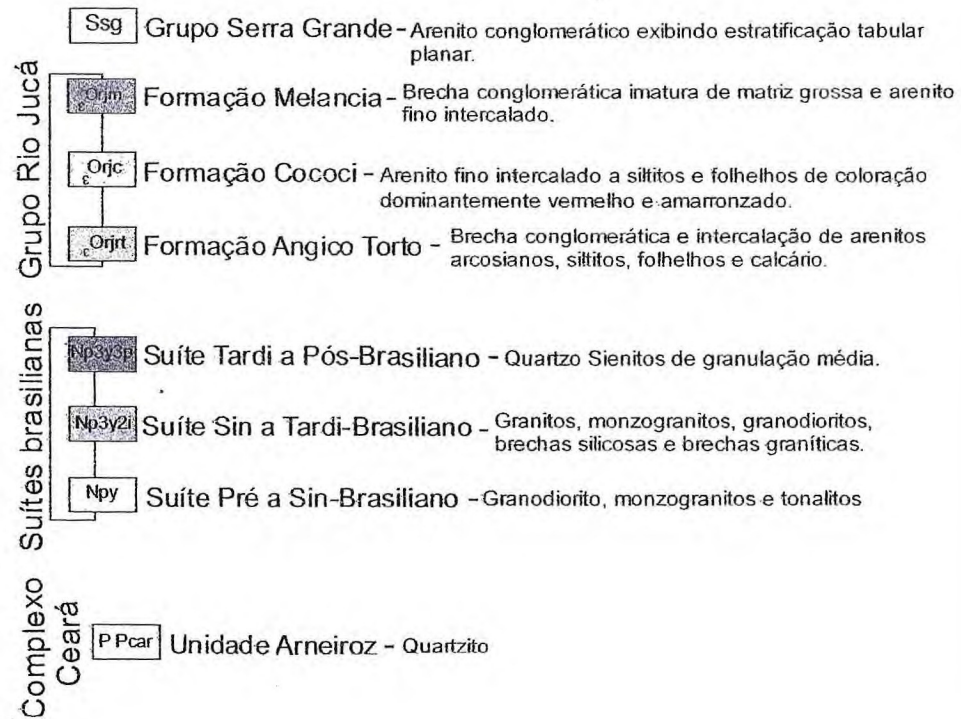


Imagem ternária RGB Gamaespectométrica







COLUNA LITOESTRATIGRÁFICA




CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS


 Açude

Drenagem


 Rodovia Federal Pavimentada

 Localidade

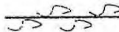
CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

 Acamamento

 Foliação


 Foliação Verticalizada



 Falha Normal

 Zona de Cisalhamento

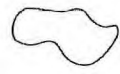
 Lineamento

Contato Definido


 Contato inferido


  Sentido da Transcorrência

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS


 Açude

Drenagem


 Rodovia Federal Pavimentada

 Localidade

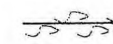
CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

 Acamamento

 Foliação

 Foliação Verticalizada



 Falha Normal

 Zona de Cisalhamento

 Lineamento

Contato Definido

 Contato inferido

  Sentido da Transcorrência

RECURSOS MINERAIS

STATUS DAS MINERALIZAÇÕES

- ✕ Pedreira inativa
- ◇ Ocorrência de Cu

SUBSTÂNCIA

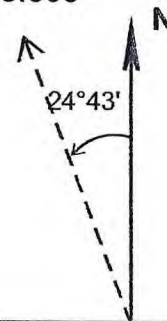
Cu - Cobre

MAPA GEOLÓGICO
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM - SAD 69

± 12



ESCALA 1:25.000



Orientador: Clóvis Vaz Parente
Co-orientador: Otaciel de Oliveira Melo
Orientando: Luã Barroso Menezes



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

