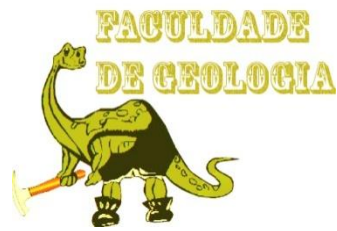




Universidade Federal do Pará



Faculdade de Geologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

FRANCO FELIPE OLIVEIRA DA COSTA

FÁCIES E PETROGRAFIA DA SUCESSÃO VULCANOCLÁSTICA-SILICICLÁSTICA PRÉ-CAMBRIANA NO TESTEMUNHO AVL8-FD6, NOROESTE DA SERRA DOS CARAJÁS

GEOCIÊNCIAS
U F P A

BELÉM

2015

FRANCO FELIPE OLIVEIRA DA COSTA

**FÁCIES E PETROGRAFIA DA SUCESSÃO VULCANOCLÁSTICA-
SILICICLÁSTICA PRÉ-CAMBRIANA NO TESTEMUNHO AVL8-FD6,
NOROESTE DA SERRA DOS CARAJÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Afonso César
Rodrigues Nogueira.

BELÉM

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C837f Costa, Franco Felipe Oliveira da, 1991-

Fácies e petrografia da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica Pré-Cambriana no testemunho AVL8-FD6, noroeste da Serra dos Carajás / Franco Felipe Oliveira da Costa. – 2015

75 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2015.

1. Geologia estratigráfica - Pré-cambriano. 2. fácies (Geologia) - Carajás, Serra dos (PA). 3. Sedimentação e depósitos - Carajás, Serra dos (PA). I. Título.

CDD 22. ed.: 551.71

FRANCO FELIPE OLIVEIRA DA COSTA

**FÁCIES E PETROGRAFIA DA SUCESSÃO VULCANOCLÁSTICA-
SILICICLÁSTICA PRÉ-CAMBRIANA NO TESTEMUNHO AVL8-FD6,
NOROESTE DA SERRA DOS CARAJÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para obtenção
do grau de Bacharel em Geologia.

Data da Aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Afonso César Rodrigues Nogueira- Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Prof. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Cintia Maria Gaia da Silva
Doutor em Geologia
Serviço Geológico do Brasil - CPRM

*À minha mãe,
por todo esforço e dedicação para minha educação*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por tudo e porque sem ele nada sou!

À Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências e Faculdade de Geologia, pela infraestrutura oferecida que permitiu o desenvolvimento deste trabalho e graduação no curso Geologia.

Aos geólogos Fernando Martins Vieira Matos e Samuel Nunes Ferreira da empresa Vale S.A., pela concessão do testemunho e amostras essencial para execução desta pesquisa. Obrigado.

Aos meus pais Francivaldo (*in memoriam*) e especialmente Eliana, por ser minha razão de viver, baseado na luta cotidiana, seu caráter e temor a Deus têm sido a base para construção do meu caráter e perfil. Agradeço pela confiança e todo suporte fundamental para obtenção deste bacharelado em Geologia.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Afonso Nogueira pela confiança e oportunidade de desenvolver este trabalho, assim como sua paciência e preciosos conselhos que auxiliam no meu crescimento pessoal e profissional. Meu mais sincero obrigado pela amizade construída.

Aos professores Dr. Joelson Soares, Dr. José Bandeira e Dr. Roberto Vizeu pelas conversas e sugestões no decorrer deste trabalho.

Aos meus grandes amigos Dayane Coelho e Arthur Aragão de forma especial pelo carinho e companheirismo construído ao longo desses anos, além de paciência, compreensão, e motivação. A importância de vocês é indiscutível.

Aos futuros geólogos Helder Oliveira (Rodela) e Rafael Guimarães pelas conversas e conselhos importantes para construção desse trabalho.

Aos demais amigos Reinaldo Junior, Rômulo Amaral (Gordo), Msc. Bruna Nogueira (Bruninha), Edson Batista (Passividade), Ramon (Pipes), Leonardo Negrão, Ailton Brito, Pablllo Henrique (Pablitos), Patrícia Rodrigues (X-tudo), Christian Wesley (Bino), Paulo Aviz (Cara de peixe), Daiveson Serrão (Neymar), Meireanny Gonçalves, Lívia Freitas e Adson Pinheiro; Muito obrigado pela amizade e companheirismo que tornaram esses cinco anos árduos em alegres e divertidos dias.

Aos demais colegas da turma de 2010 e agora futuros geólogos, desejo sucesso!

Aos meus amigos da vida, Angelo Taverny, Jeferson Silva e Thiago Taverny pelo apoio e incentivo. Obrigado.

Em especial à Gabriela Esteves que vem se tornando cada vez mais importante em minha vida.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para que esta monografia de conclusão de curso fosse realidade.

“Pois tu és a minha rocha e minha fortaleza”

Salmo 71:3

RESUMO

No sudeste do cráton Amazônico encontra-se uma das maiores províncias metalogenética do mundo, a Província Mineral de Carajás disposta como expressivo conjunto geomorfológico caracterizado por serras e platôs de direção geral E-W. É portadora de um amplo registro sedimentar pré-cambriano, porém coberto por densas e florestas e solos. O procedimento mais adequado para se obter a mais completa leitura estratigráfica numa área com estas dificuldades, é sem dúvida, a descrição e interpretação de testemunhos de sondagem, no qual está pautado este trabalho. O testemunho de sondagem AVL8-FD6 (Alvo Salvador) cedido pela Empresa Vale situa-se na porção noroeste da Serra do Carajás, próximo a região da Mina do Igarapé Bahia, sudeste do Estado Pará. Corresponde a uma sucessão vulcanoclástica-siliciclástica representada por depósitos vulcanoclásticos com eventuais níveis de rochas siliciclásticas associadas; em contato discordante erosivo (S1) com rochas predominantemente siliciclásticas associadas a rochas vulcanoclásticas discretas; subdividida nas unidades litoestratigráficas Grupo Igarapé Bahia e a Formação Águas Claras. Ambas cortadas por corpos gabróticos de natureza máfica. O estudo petrográfico da sucessão permitiu a distinção de seis litofácies: quartzo-arenito cloritizado (Am), ignimbrito tipo cristal tufo (Ict), ignimbrito foliado (If), ignimbrito tipo lapili (Itl), quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz) e quartzo-arenito com laminação quasi-planar (Aq). O hidrotermalismo foi responsável pela ampla modificação nas litofácies por vezes mascarando as estrutura primárias principalmente nos ignimbritos e tufos, favorecendo a autigênese de clorita e desvitrificação das *pumices*. A sucessão é toda afetada por alteração hidrotermal que acompanha processos de cloritização, carbonatação e seritização. A análise do conjunto dos dados permitiu a interpretação que as litofácies da porção basal do testemunho AVL-FD6 atribuídas ao Grupo Igarapé Bahia foram depositadas em Bacia vulcânica subaérea; e as litofácies referidas à Formação Águas Claras se deram em bacia continental no ambiente fluvial entrelaçados perturbada por eventos magmáticos na sua fase inicial.

Palavras-chave: Província Carajás. Pré-cambriano. Fácies. Depósitos Vulcanoclásticos.

ABSTRACT

In the southeast part of the Amazon Craton is located one of the biggest metallogenic provinces in the world, Carajás Mineral Province, which is an expressive geomorphological setting, comprising E-W oriented mountains and plateaus. It contains a large precambrian sedimentary register, covered, however, by a dense forest and soils. The most appropriate procedure to obtain complete stratigraphic data in an area with these difficulties is, no doubt, the description and interpretation of drill hole samples, in which this research is concerned. The drill hole AVL8-FD6 (Salvador Target) samples were collected in the northeast part of Carajás Mountain, near Igarapé Bahia Mine, southeast of Pará State, and were given by Vale mining company. It corresponds to a vulcanoclastic/siliciclastic sequence, represented by vulcanoclastic deposits associated with rare siliciclastic levels; in erosive discordant contact (S1) mainly with siliciclastic rocks associated with vulcanoclastic secondarily; subdivided in the lithostratigraphic units Igarapé Bahia Group and Águas Claras Formation. Both cut by mafic nature gabbroic bodies. The petrographic study of this succession allowed the distinction of six lithofacies: chloritized quartz-sandstone (Am), tuff crystal ignimbrite (Ict), foliated ignimbrite (If), lapilli ignimbrite (Itl), quartz-sandstone with cross lamination (Acz) and quartz-sandstone with almost planar-lamination (Aq). The hydrothermalism was responsible for the large modifications in the lithofacies, sometimes obliterating the primary structures, mainly in the ignimbrites and tuffs, leading to the chlorite autigenesis and pumice devitrification. The succession is all affected by hydrothermal alteration, accompanying chloritization, carbonatization and sericitization. The integrated review suggests that the drill hole AVL-FD6 basal lithofacies, attributed to Igarapé Bahia Group were deposited in a subaerial volcanic basin; and the lithofacies related to Águas Claras Formation were deposited in continental a basin, in a fluvial environment, disturbed by magmatic events in its initial phase.

Keywords: Carajás Province. Precambrian. Facies. Deposits Vulcanoclastics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 -	Mapa de localização e acesso da área estudada, Província Mineral de Carajás, região sudeste do Estado do Pará.	17
Figura 2.1 -	Nomenclatura descritiva das rochas pioroclásticas.	20
Figura 3.1 -	Contexto tectônico do Cráton Amazônico, no âmbito da Plataforma Sul-Americana, e o arranjo das sete províncias tectônicas ou geocronológicas.	24
Figura 3.2 -	Região da Serra dos Carajás, Província Mineral de Carajás. A) Contexto geológico e estrutural da região de Carajás, contendo as principais localidades; B) Quadro litoestratigráfico da área.	25
Figura 4.1 -	Perfil estratigráfico da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica da Serra dos Carajás. S1: contato erosivo que distingue as unidades Grupo Igarapé Bahia e Formação Águas Claras.	32
Figura 4.2 -	Foto da amostra representativa dos corpos gabróicos	34
Figura 4.3 -	Fotomicrografias dos aspectos petrográficos do litotipo Gabro. (A) e (B) Textura ofítica-subofítica ressaltado pela trama das ripas euédricas de plagioclásio dispostas aleatoriamente envolvidas total ou parcialmente por cristais de anfibólio. (C) e (D) Detalhe de cristais de anfibólio envolvendo as ripas de plagioclásio. (E) e (F) Textura granofírica secundária. Fotos (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X).	36
Figura 4.4 -	Fotomicrografia dos aspectos petrográficos dos corpos gabróicos (A) e (B) Cristais euédricos de anfibólio em meio a textura granofírica secundária. (C) e (D) Detalhe da exsolução de sílica e cristalização de quartzo intercrescido com feldspato de forma vermicular. (E) e (F) Vênulas de carbonato associado a carbonatação . Fotomicrografias (A) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (C), (D) e (F) com nicóis cruzados (NX).	37

- Figura 4.5 -** Aspectos macroscópicos da litofácies Arenito maciço (Am). A) Fragmento chave do testemunho de sondagem correspondente a amostra AVL8-FD6-1-1000,7m B) Arenito maciço cloritizado e cortado por vênulas de quartzo C) Trama textural da litofácies sustentada por grãos modificados acompanhados de cloritização intersticial semelhante a matriz; e detalhe do arcaço e seus grãos subarredondados a subangulosos. 38
- Figura 4.6 -** Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Quartzo-arenito maciço (Am). (A) e (B) Textura principal da litofácies, sustentada por grãos de quartzo (Qz) imersos numa aparente matriz de Clorita (Chl). (C) e (D) Feições de deformação evidenciando agregados recristalizados de quartzo (Qz) com forte extinção ondulante. (E) e (F) Detalhe do grão de quartzo deformado na forma de subgrão. Fotos (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X). 40
- Figura 4.7 -** Fotomicrografias de luz transmitida revelando aspectos texturais e mineralógicos da Litofácies Am. Siglas minerais segundo Whitney e Evans (2010). (A) Vênulas preenchidas por clorita (Chl). (B) Assembleia mineralógica presente, basicamente quartzo (Qz) e clorita (Chl), com destaque para os minerais acessórios titanita (Spn) e agregados de zircão (Zrn). (C) e (D) Cristal anedral de titanita (Spn) bastante fraturado associado a clorita (Chl) e minerais opacos (Opq). (E) e (F) Detalhe da matriz composta por finas lamelas de clorita (Chl) intersticial aos grãos de quartzo (Qz); destaque aqui a presença de cristais euédricos de zircão (Zrn) e lamelas de sericita (Ser) muito finas, em meio a grande massa azul conferida pela cor anômala de interferência da clorita em nicóis cruzados (NX). 41
- Figura 4.8 -** Amostra representativa da litofácies Ignimbrito tipo cristal tufo e suas principais feições macroscópicas: coloração verde escura com foliação incipiente observada por finos cristais esbranquiçados 42
- Figura 4.9 -** Fotomicrografias de luz transmitida revelando aspectos texturais e mineralógicos da litofácies Ict. Siglas minerais segundo Whitney e Evans (2010). (A) e (B) Aspecto fluidal ressaltado pela orientação dos minerais componentes da matriz que contornam cristaloclástos constituídos essencialmente de quartzo. (C) e (D) Detalhe dos litoclástos envoltos por matriz de clorita (Chl) e aglomerados de sericita (Ser), opacos (Opq) e carbonato (Cb). (E) Aglomerados de titanita anedral (Spn). (F) Cristal romboédrico de anfibólio reliquiar (Amp). 44
- Figura 4.10 -** Amostras representativas da litofácies If mostrando ignimbritos de coloração cinza esverdeado com foliação ressaltada pela orientação dos minerais e agregados lamelares de clorita. 45

- Figura 4.11-** Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito foliado (If). (A) e (B) Textura principal da fácies de aspecto fracamente laminar realçado pela orientação dos cristais de quartzo em meio a matriz desenhando uma trama plástica com fluxo. (C) e (D) Detalhe de cristais de quartzo (Qz) achatados e alongado semelhante a *fiammes* (E) e (F) Cristais anedrais de titanita (Spn) associados a matriz de clorita (Chl) . Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (NX). 47
- Figura 4.12 -** Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito foliado (If). (A) e (B) Cristais de quartzo com bordas serrilhadas. (C) e (D) Detalhe de cristais de quartzo (Qz) com discreto embaimaneto. (E) e (F) Cristais de quartzo semelhante a quartzo vulcânico. Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Em (B), (D),e (F) nicóis cruzados (NX). 48
- Figura 4.13 -** Aspectos macroscópicos da litofácies Quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz), evidenciando a estrutura preponderante da fácies, laminação cruzada com sets variando de 0,5 a 1 cm. 49
- Figura 4.14 -** Aspectos petrográficos da litofácies Acz. (A) e (B) Textura relíquia de arcabouço sedimentar sustentada por grãos essencialmente de quartzo numa trama de forte modificação e recristalização. (C) e (D) Detalhe do arcabouço da rocha sustentado por grãos de quartzo em meio matriz cloritica (Chl) e sericita (Ser). (E) e (F) Detalhe da deformação em grãos de quartzo originando subgrãos. Fotomicrografias em nicóis paralelos (N //) em A, C e E; e nicóis cruzados (N X) em B, D e F. 51
- Figura 4.15 -** Feições petrográficas da litofácies Quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz). (A) Arcabouço sedimentar em meio a uma matriz secundária de clorita. (B) Vênulas preenchidas por clorita. (C) e (D) Cristais anédricos de quartzo, em feições de cominuição com tamanho inferior a 200 µm, no que aparenta ser zonas ou “corredores” de deformação. 52
- Figura 4.16 -** Aspectos texturais macroscópicos da litofácies Aq, denotando desenho esquemático dos leitos centimétricos da laminação quase-planar, para os arenitos intensamente recristalizados, com valor máximo de 0,5 cm. 53
- Figura 4.17 -** Fotomicrografia das principais feições petrográficas da litofácies Aq. (A) e (B) Arranjo textural com visíveis contornos subangulosos a subarredondados de grãos conjuntamente com agregados intersticiais de clorita. (C) e (D) Feições de deformação zonas ou “corredores” de deformação. 54

- Figura 4.18** - Aspectos petrográficos da litofácies Quartzo-arenito com laminação quasi-planar. (A) e (B) Detalhe de aspectos deformacionais e formação de subgrãos de quartzo na rocha. (C) e (D) Destaque para halos pleocroicos de zircão (Zrn) em matriz de clorita (Chl) e sericita (Ser). Nicóis paralelos (N //) em A e C; e nicóis cruzados (N X) em B e D. 55
- Figura 4.19** - Amostra representativa da litofácies Icl. Denota-se a foliação de fluxo evidenciada por cristais de *pumice* e litoclastos em meio a uma matriz cloritica. Observa-se cristais de quartzo com embaiamento a olho nu. 56
- Figura 4.20** - Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito tipo lapili.(A) e (B) Aspecto microtextural fluidal caracterizada pela orientação de minerais que constituem a matriz juntamente com os litoclóstos e cristaloclastos de quartzo. (C) e (D) Associação mineral correspondente a matriz juntamente com cristaloclastos de quartzo (Qz) e litoclastos (Lt). (E) e (F) litoclastos e clastos moderadamente soldados, sugerindo uma textura reooutaxítica. Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X). 58
- Figura 4.21** - Aspectos petrográficos relevantes da litofácies Itl. (A) e (B) Destaque para os possíveis elementos de *pumices* em meio a matriz cloritica. (C) e (D) Discretas feições de embaiamento em cristais de quartzo, sugerindo origem vulcânica para este constituinte. 59
- Figura 4.22** - Quadro litoestratigráfico simplificado para sucessão vulcanoclástica-siliciclástica do noroeste da Serra dos Carajás com base no testemunho AVL8-FD6. 63
- Figura 4.23** - Seções esquemáticas propostas para história evolução deposicional da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica do noroeste da Serra dos Carajás, ilustrando os principais sistemas e ambientes deposicionais, com base no testemunho de sondagem AVL8-FD6. (A) Deposição do Grupo Igarapé Bahia entre 2,7 e 2,5 Ga, em uma bacia tectonicamente instável inicialmente perturbada por eventos de vulcanismo subaéreo e em águas profundas, assolada por eventos de turbidez com preservação depósitos turbidíticos na sua parte mais distal. (B) Após posterior evento transgressivo e conseqüente aumento no nível do mar (NM2) houve o predomínio do ambiente subaquoso e sedimentação dos depósitos de turbiditos. (C) Soerguimento e exposição dos pacotes e conseqüente formação da superfície erosiva S1. (D) No paleoproterozóico, um momento de subsidência propicia implementação de bacia eminentemente continental e progradação de sistemas fluviais entrelaçados porém perturbada por eventos magmáticos na sua fase inicial. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Descrição e processos das litofácies da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica da Serra dos Carajás.	33
-------------------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Amp =Anfibólio

Chl = Clorita

Hbl = Hornblenda

Lt = Litoclasto

Opq = Opaco

Pl = Plagioclásio

Qz = Quartzo

Spn = Titanita

Ser = Sericita

Zrn = Zircão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
2.1	ANÁLISE DE FÁCIES E ESTRATIGRÁFICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM	19
2.2	ANÁLISE PETROGRÁFICA.....	20
3	A PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS	21
4	A SUCESSÃO VULCANOCLÁSTICA-SILICICLÁSTICA ARQUEANA- PALEOPROTEROZÓICA DO NOROESTE DA SERRA DOS CARAJÁS.....	26
4.1	TRABALHOS PRÉVIOS	26
4.1.1	Grupo Igarapé Bahia.....	26
4.1.2	Formação Águas Claras	28
4.2	ASPECTOS GERAIS	31
4.3	ROCHAS INTRUSIVAS.....	34
4.4	LITOFÁCIES E PETROGRAFIA.....	38
4.4.1	Grupo Igarapé Bahia.....	38
4.4.1.1	Litofácies Am – Quartzo-arenito maciço cloritizado	38
4.4.1.2	Litofácies Ict – Ignimbrito tipo cristal tufo	42
4.4.1.3	Litofácies If - Ignimbrito foliado.....	45
4.4.2	Formação Águas Claras	49
4.4.2.1	Litofácies Acz – Quartzo-arenito com laminação cruzada	49
4.4.2.2	Litofácies Aq – Quartzo-arenito com laminação quasi-planar	52
4.4.2.3	Litofácies Itl – Ignimbrito tipo lapili	56
4.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS LITOFÁCIES	60
4.6	INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL.....	61
5	CONCLUSÕES	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

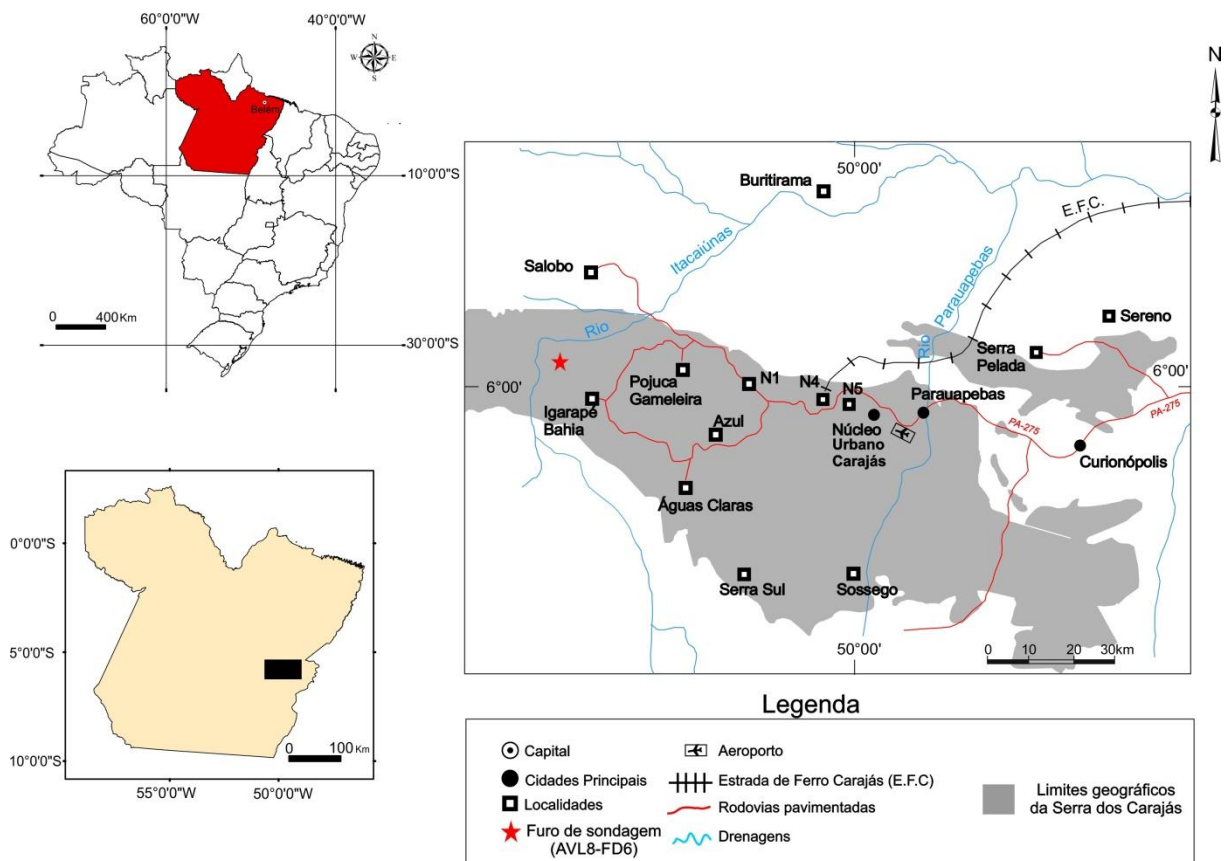
A interpretação paleoambiental de depósitos sedimentares pré-cambrianos na Amazônia não se traduz numa tarefa fácil. Dentro desse contexto encontra-se a Serra dos Carajás, considerada como uma das maiores províncias metalogenéticas do mundo, portadora de importantes jazidas de ferro, ouro, manganês e cobre associadas aos diversos conjuntos litológicos representados principalmente por rochas vulcânicas, formações ferríferas e depósitos siliciclásticos. Embora os depósitos mineralizados desta região sejam amplamente registrados em mapas geológicos do sudeste do Cráton Amazônico, as descrições são geralmente de cunho litoestratigráfico o que dificulta um melhor entendimento da história deposicional. A densa cobertura de florestas e solos originados pelo intenso intemperismo tropical contribui para a escassez de bons afloramentos, prejudicando a aplicação de métodos faciológicos de detalhe, bem como, a análise petrográfica dos litotipos. Estas dificuldades naturais associadas aos efeitos de tectonismo responsável pela descontinuidade das sucessões sedimentares, tem impedido a correlação precisa e contribui para a excessiva interpretação por sensores remotos e geoprocessamento.

As bases de dados confiáveis para o estudo faciológico na Serra dos Carajás são geralmente os poucos cortes de estradas, drenagens e principalmente as frentes de lavra de minas ativas e abandonadas que muitas vezes podem facilitar a análise geométrica e paleoambiental, embora a análise completa de uma sucessão estratigráfica nem sempre é possível. O procedimento mais adequado para se obter a mais completa leitura estratigráfica numa área com estas dificuldades, é sem dúvida, a descrição e interpretação de testemunhos de sondagem, realizados em áreas onde a sucessão sedimentar encontra-se mais preservada. O testemunho de sondagem AVL8-FD6 (Alvo Salvador) cedido pela empresa Vale é o objeto deste trabalho de conclusão de curso. A área de aquisição deste testemunho situa-se na porção noroeste da Serra do Carajás, próximo a região da Mina do Igarapé Bahia, sudeste do Estado do Pará (Figura 1.1).

A Serra dos Carajás é um expressivo conjunto geomorfológico representativo da Amazônia Oriental caracterizado por serras e platôs de direção geral E-W, e altitudes que alcançam, em média, 700 metros. Dentro do quadro tectônico regional faz parte do Sistema Transcorrente Carajás vinculado à evolução do Cinturão Itacaiúnas, final do Arqueano (ARAÚJO; MAIA, 1991). Está disposta geologicamente no segmento crustal proposto por Santos (2003), Domínio Carajás, da Província Carajás, no contexto da Folha Serra dos Carajás (SB-22-Z-A). As unidades estratigráficas presentes no testemunho de sondagem

estudado compreende: as rochas vulcânicas-siliciclásticas arqueanas do Grupo Igarapé Bahia (DOCEGEO, 1988), pertencentes ao Supergrupo Itacaiúnas e incluídas na Assembléia do Embasamento por Pinheiro (1997); e as rochas siliciclásticas paleoproterozóica da Formação Águas Claras (ARAÚJO et al., 1988), formalizadas por Nogueira et al. (1995). O trabalho concentrou-se principalmente combinação de dados sedimentológicos e petrográficos onde foram avaliadas seções delgadas da base do testemunho de sondagem AVL8-FD6 por envolver a zona de contato entre as unidades supracitadas. A avaliação paleoambiental de testemunhos de sondagem calcada em dados estratigráficos mais precisos permitirá um maior entendimento de depósitos vulcano-sedimentares pré-cambrianos com mineralizações da Serra dos Carajás que servirão de base para futuros modelos prospectivos.

Figura 1.1 - Mapa de localização e acesso da área estudada, Província Mineral de Carajás, região sudeste do Estado do Pará.



Fonte: Modificado de Lindenmayer et al. (2001)

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta pesquisa foi contribuir para um melhor entendimento dos depósitos sedimentares pré-cambrianos da Serra dos Carajás, com base em estudos estratigráficos, faciológicos e petrográficos em rochas vulcanoclásticas e siliciclásticas por meio da análise de testemunho de sondagem AVL8-FD6 advindo das proximidades da mina do Igarapé Bahia (Alvo Salvador), levando em consideração os seguintes objetivos específicos:

1. Interpretação paleoambiental da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica pré-cambriana da região noroeste da Serra dos Carajás;
2. Formulação de um arcabouço estratigráfico para o Noroeste da Serra dos Carajás.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ANÁLISE DE FÁCIES E ESTRATIGRÁFICA DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM

A base de dados desta pesquisa provém da descrição do testemunho de sondagem AVL-8-FD06 armazenadas em caixas com quatro testemunhos cada, chegando numa profundidade máxima de 1000,52 metros, dos quais foram avaliados apenas o intervalo basal até a profundidade de 659,29 metros. A escolha deve-se ao fato de que o intervalo basal foi o que mostrou maior diversidade de litotipos e, portanto, fundamental para distinguir diferentes unidades estratigráficas. A amostragem deu-se no intervalo de um em um metro ou quando foi observado uma significativa mudança litológica.

A descrição das fácies sedimentares em rochas alteradas (intemperismo, hidrotermalismo, metamorfismo, deformação tectônica) é uma tarefa constante para quem estuda a região de Carajás. O intemperismo tende a modificar os grãos de minerais instáveis do arcabouço das rochas sedimentares geralmente transformados em argilominerais. Além disso, a percolação de fluídos por hidrotermalismo modifica o litotipo, mascarando a estrutura primária e favorecendo a autigênese de novos minerais. Destaca-se a coloração esverdeada, observada tanto em afloramento como nos testemunhos de sondagem, associada à presença frequente de clorita, advinda da transformação mineralógica de alguns minerais ou mesmo de fragmentos de rocha instáveis.

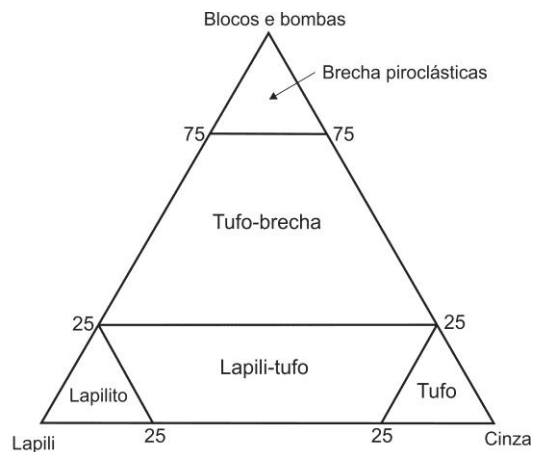
A necessidade de analisar precisamente a estrutura sedimentar para inferir processo deposicional é básico na composição das associações de fácies e interpretação paleoambiental (WALKER; JAMES, 1992). Definir a origem da argila nos arenitos é fundamental para a classificação dos litotipos (DE ROS, 1988; DE ROS; CÉSERO, 1986), já que muitas argilas podem ser geradas durante a diagênese e/ou aporte hidrotermal. Algumas estruturas não foram muito bem definidas o que dificultou a interpretação precisa de processos sedimentares. Essa limitação foi também devido ao fato de que alguns furos não puderam ser serrados ao meio. Da mesma forma, a intensa brechagem hidráulica próxima das rochas intrusivas dificultaram uma melhor caracterização das litofácies e estes intervalos foram descartados da análise. O prefixo “meta” não é utilizado na terminologia dos litotipos por inferir um processo genético e não descritivo. Entretanto, é possível inferir um baixo grau de metamorfismo na sucessão estudada, embora o hidrotermalismo possa mascarar qualquer assembleia metamórfica de baixa temperatura.

A descrição de fácies e o entendimento dos depósitos vulcanoclásticos foi auxiliada pelas propostas de Tucker (1992), Reading (1996), McPhie et al. (1993) e Gill (2010).

Figura 2.1 - Nomenclatura descritiva das rochas piroclásticas.

Piroclastos		Diâmetro /mm	ϕ	Equivalente epiclástico
Bloco ou bomba*	Grosso	256	-8.0	Matacão
	Fino	64	-6.0	Bloco
Lapili		2	-1.0	Seixo
Cinza				Grossa
		1/16	+4.0	Silte

* As bombas são piroclastos nessa faixa de tamanho com forma característica, relacionada com lançamento no ar ou com impacto com a superfície.



Fonte: Baseado em Gill (2010) e Fisher (1966)

2.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA

Para a análise petrográfica foram confeccionadas e descritas vinte (20) seções delgadas a partir de intervalos-chaves da amostragem, no intuito de caracterizar litotipos componentes das fácies da porção basal do testemunho, atentando-se para composição mineralógica e aspectos texturais.

Para a classificação dos depósitos vulcanoclásticos fez-se uso da proposta de Pettijohn (1975) e Pettijohn et al. (1987), quanto aos respectivos aspectos texturais, utilizou-se como auxílio os textos de Tucker (1992), Reading (1996), McPhie et al. (1993), Fisher (1966) e Gill (2010).

O equipamento utilizado para a obtenção dos dados foi o microscópio petrográfico Axioskop polarizador e acessórios Zeiss, acoplado a uma câmera digital Sony CYBERSHOT, MPEG MOVIE EX, com 3.3 Mega Pixels e zoom de 6.0x em modo de cena, no quais foram obtidas as fotomicrografias, pertencente ao laboratório de petrografia do Grupo de Geologia Sedimentar (GSED), da Universidade Federal do Pará.

3 A PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

O Cráton Amazônico representa uma grande placa litosférica da Plataforma constituído pelos escudos das Guianas e Brasil Central (Figura 3.1). É definida em várias províncias crustais de idades arqueana a mesoproterozóica, estabilizada tectonicamente em torno de 1,0 Ga, tendo se comportado como uma placa estável no Neoproterozóico, durante o desenvolvimento das faixas orogênicas marginais brasileiras (BRITO NEVES; CORDANI, 1991). Vários modelos de compartimentação em províncias tectônicas ou geocronológicas foram discutidos e sugeridos a partir de Amaral (1974), passando por Cordani et al. (1979), Teixeira et al. (1989), Tassinari (1996), Santos et al. (2000), Tassinari et al. (2000), até as propostas mais recentes contidas na literatura onde destacam-se Santos (2003) e Tassinari e Macambira (2004). No geral, tais propostas admitem que a evolução do Cráton Amazônico é resultante de acreção crustal em sucessivos episódios ocorridos no Paleo- e Mesoproterozóico, em torno de núcleo estabilizado no final do Arqueano.

A Província Mineral Carajás é a porção crustal mais bem preservada do Cráton Amazônico, considerada uma das maiores províncias minerais do planeta com recursos abundantes principalmente em Fe, Cu, Au, Mn, Al, e outros. Esta província está localizada na sua borda sul-oriental do cráton, sudeste do estado do Pará (Figura 3.2), delimita-se a norte pelo Domínio Bacajá conforme critérios geocronológicos (CORDANI et al., 1984; MACAMBIRA et al., 2003, 2004, 2007; MONTEIRO, 2006) litológicos, estruturais e granitogênese (RICCI et al, 2003b); a leste pelo cavalgamento do Cinturão Araguaia com a Província Tocantins; a oeste pelas rochas ígneas e sedimentares paleoproterozóicas da Província Amazônia Central que recobrem e cortam as rochas da Província Carajás, e que ocorrem também de forma esparsa no interior desta província arqueana; por fim seu limite meridional é com o Domínio Santana do Araguaia (Figura 3.2), um novo segmento da Província Transamazonas (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

Diversos trabalhos anteriores esboçaram uma divisão desta província em domínios e associações litotectônicas distintas (p.ex. COSTA et al., 1995; MACAMBIRA; LAFON, 1995; SOUZA et al., 1996; ALTHOFF et al., 2000; DALL'AGNOL et al., 2000). Vasquez e Rosa-Costa (2008) propõem o Domínio Carajás como um conjunto de rochas de alto grau associadas, representantes do embasamento arqueano caracterizadas por sequências metavulcano-sedimentares (*greenstone belts*) neoarqueanas e complexos máfico-ultramáficos. Além disso, contemporâneos às sequências metavulcano-sedimentares encontram-se granitos neoarqueanos evoluídos composicionalmente. Ainda no arqueano, recobrimo as sequências

metavulcano-sedimentares, têm-se depósitos siliciclásticos desenvolvidos em plataforma continental. Neste domínio, as associações tectônicas do Paleoproterozóico são corpos máfico-ultramáficos siderianos e granitos tipo A orosirianos. A estruturação geral do Domínio Carajás é marcada por feixes de estruturas de direção E-W e WNW-ESE, formando o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, implantado desde o Mesoarqueano. Posteriores reativações regionais rúpteis desenvolveram os sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento na porção norte (PINHEIRO; HOLDSWORTH, 2000), enquanto a porção sul é controlada por um sistema compressivo, com leques imbricados de cavalgamentos oblíquos dúcteis (ARAÚJO; MAIA, 1991; COSTA et al., 1995).

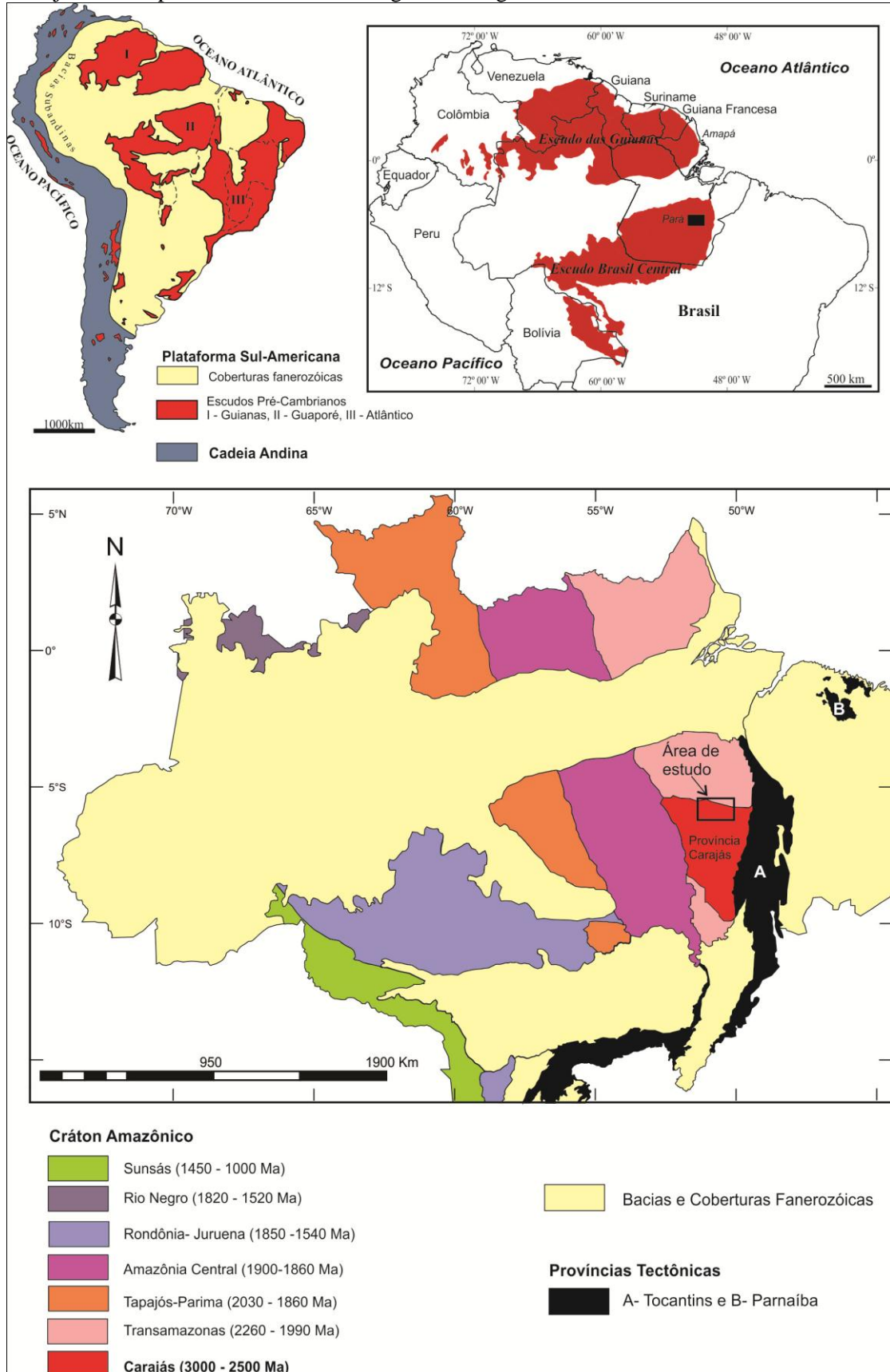
Na região da Província Mineral de Carajás dois segmentos crustais distintos ganham destaque frente subdivisão em Domínios propostos por Santos (2003). O primeiro refere-se aos terrenos granito-*greenstone* localizados mais a sul pertencentes ao Domínio Rio Maria. O outro, mais ao norte, diz respeito ao Domínio Carajás no qual as rochas geradas ou reativadas durante tectonismo posterior compõe o chamado Cinturão Itacaiúnas (ARAÚJO; MAIA, 1991; COSTA et al., 1995; Figura 3.2).

O Cinturão Itacaiúnas tem sido alvo de pesquisas geológicas desde a década de 60 (ex. BARBOSA et al., 1966), estas em sua maioria tiveram cunho estratigráfico relacionado à prospecção de depósitos minerais (BEISIEGEL et al., 1973; HIRATA et al., 1982; MEIRELES et al., 1984). É caracterizado igualmente por dois blocos tectônicos limitados por uma grande zona de cisalhamento, onde no bloco norte localiza-se o sistema transcorrente Cinzento (Figura 3.2A), enquanto no bloco sul identifica-se o sistema transcorrente Carajás. O limite dos blocos assinala o limite da aba norte da grande estrutura sigmoidal de Carajás.

No que se refere ao Cinturão Itacaiúnas, foram distinguidas várias unidades lito-estratigráficas (DOCEGEO, 1988), sendo descritas como mais antigas os Complexos Pium e Xingu (SILVA et al., 1974), respectivamente rochas granulíticas e gnáissicas ocasionalmente migmatizadas; e os granitóides deformados e lenticularizados da Suíte Plaquê (ARAÚJO et al., 1988). Estas três unidades constituem a Assembleia do Embasamento (Figura 3.2B) de Pinheiro (1997). Ademais, as unidades sobrepostas correspondem a Assembleia de Cobertura (PINHEIRO, 1997) composta pelo Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988) incluindo os grupos Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão-Pará, Igarapé Bahia e Buritirama, sendo todas sequências metavulcano-sedimentares com diferentes graus metamórficos e deformacionais; os granitóides sintectônicos do Complexo Granítico Estrela (BARROS, 1997); os depósitos siliciclásticos do Grupo Rio Fresco posteriormente hierarquizado e redefinido como Formação Águas Claras de plataforma marinha progradante (NOGUEIRA et al., 1994, 1995);

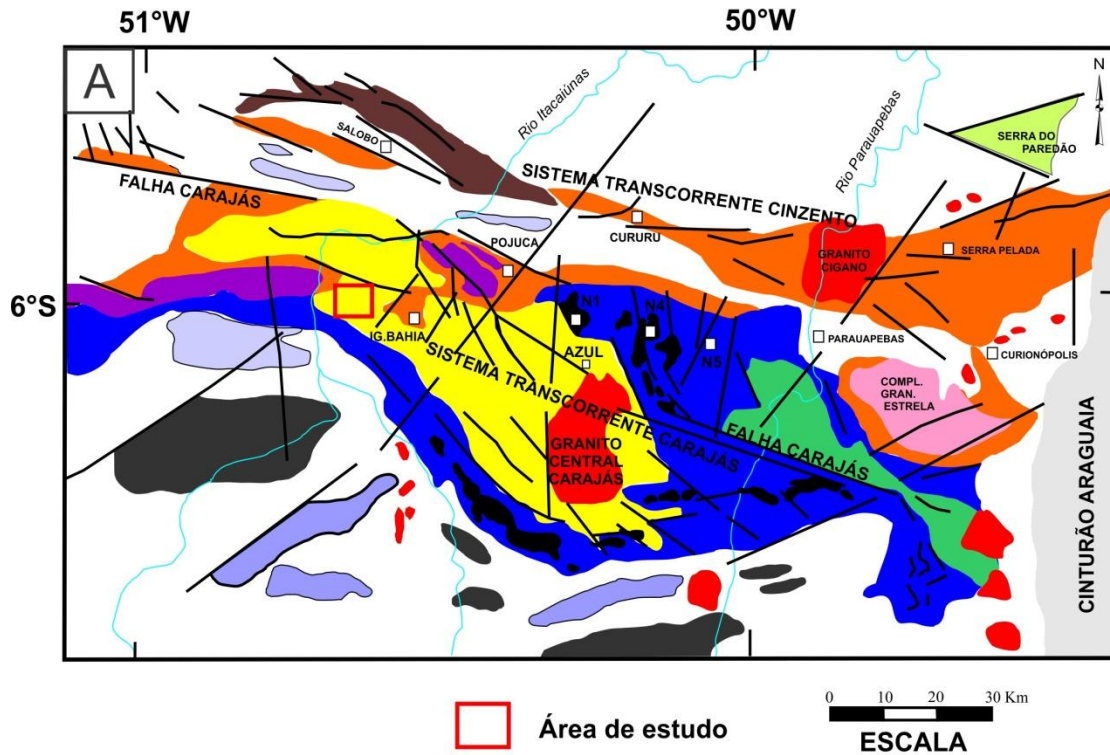
os variados corpos básicos e ultrabásicos com destaque para o Complexo Luanga (JORGE JOÃO et al., 1982), a intrusão Vermelho e o Gabro Santa Inês (MEIRELES et al. 1984 e DOCEGEO 1988); por fim os granitóides pós-tectônicos e/ou anorogênicos da Suíte Intrusiva Serra dos Carajás de Dall’Agnol et al. (2005) nos quais destacam-se o Granito Cigano e Serra dos Carajás.

Figura 3.1 - Contexto tectônico do Cráton Amazônico, no âmbito da Plataforma Sul-Americana, e o arranjo das sete províncias tectônicas ou geocronológicas.



Fonte: Baseado em Almeida et al. (1981), Santos (2003) e Vasquez e Rosa-Costa (2008).

Figura 3.2 - Região da Serra dos Carajás, Província Mineral de Carajás. A) Contexto geológico e estrutural da região de Carajás, contendo as principais localidades; B) Quadro litoestratigráfico da área.



B	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	IDADES	METAMORFISMO	DEFORMAÇÃO	
Assembléia de Cobertura	Grupo Serra Grande	Sturliano-Ordoviciano	Sem Metamorfismo	Rúptil	
	Formação Goróire	Proterozóico Superior			
	Granitóides e Diques	Mesoproterozóico			
	Assembléia do Embasamento	Formação Águas Claras	Proterozóico inferior	1.9-1.8 Ga	Dúctil-Rúptil (Temperatura Muito Baixa)
		Grupo das Pias		2.7-2.6 Ga	
		Formação Carajás	ARQUEANO	2.7 Ga	
Complexo Granítico Estrela		Xisto-Verde Muito Baixo		Hidrotermalismo	
Grupo Igarapé Pojuca					
Grupo Igarapé Salabo	ZONA DE CISALHAMENTO ITACAÛNAS	3.0-2.7 Ga	Xisto-Verde Baixo	Dúctil de baixa temperatura	
Complexo Granítico-gnásico			Antifólio e Granulito	Dúctil de Alta Temperatura	
	Complexo Xingú				
	Complexo Plum				
	Suíte Plaqué				

Fonte: Modificado de Pinheiro e Holdsworth (2000).

4 A SUCESSÃO VULCANOCLÁSTICA-SILICICLÁSTICA ARQUEANA-PALEOPROTEROZÓICA DO NOROESTE DA SERRA DOS CARAJÁS

4.1 TRABALHOS PRÉVIOS

O noroeste da Serra dos Carajás, área onde o testemunho de sondagem AVL8-FD6 foi realizado, abrange o domínio da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica pré-cambriana envolvendo as rochas vulcânicas-siliciclásticas do Grupo Igarapé Bahia, pertencente ao Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988), e os depósitos siliciclásticos da Formação Águas Claras (ARAÚJO et al., 1988; NOGUEIRA et al., 1994; NOGUEIRA, 1995), no contexto geológico do Cinturão Itacaiúnas, mais especificamente no sistema transcorrente Carajás (Figura 3.2A). Abaixo um levantamento das principais informações das unidades supracitadas.

4.1.1 Grupo Igarapé Bahia

O Grupo Igarapé Bahia de Docegeo (1988) corresponde a uma das cinco unidades do Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988), aproximadamente cronocorrelatas, metamorfizadas em fácies xisto verde inferior a anfibolito superior (e.g. HIRATA et al., 1982; DOCEGEO, 1988), de direção geral NNW, subverticalizada no sentido NE, aflorante em uma pequena janela estrutural dentro da Formação Águas Claras. Foi inicialmente subdividido nas formações (DOCEGEO, 1988) Grota do Vizinho (inferior) e Sumidouro (superior), enquanto nos trabalhos mais recentes (SOARES et al., 1999; RONZÊ et al., 2000) encontra-se descrito segundo dois domínios principais: um metavulcânico inferior e outro metassedimentar superior.

Basicamente trata-se de rochas metassedimentares e metapiroclásticas contendo zona de brechas ou rochas fragmentárias hospedeiras (DREHER 2004; DREHER et al., 2005) de mineralização cupro-aurífera, intercaladas com metabasaltos e cortados por diques máfico-isotrópicos de diabásios e gabros, apresentando um metamorfismo hidrotermal compatível com associações minerais da fácies xisto verde, e sobreposta discordantemente pela Formação Águas Claras (BEISIEGEL et al., 1973; SIQUEIRA et al., 2001; RAMOS et al., 1984; NOGUEIRA et al., 1995).

A Formação Grota do Vizinho é constituída por metabasaltos hidrotermalizados, rochas metassedimentares incluindo metapelitos, *wackes*, ritmitos e formação ferrífera contendo magnetita, carbonato e sulfetos; metapiroclásticas de caráter ácido a intermediário

(FERREIRA FILHO, 1985); além de brechas mineralizadas em Cu-Au possuindo fragmentos de formação ferrífera bandada, *chert*, *púmice* e rochas básicas.

Estratigraficamente superior, a Formação Sumidouro constitui-se por metarenitos, em parte arcoseanos e ferruginosos, intercalados com metabasaltos, sendo considerada, por alguns autores, como parte da Formação Águas Claras.

As rochas do domínio metavulcânico de Soares et al. (1999) são constituídas por metabasaltos, metandesitos e metadacitos intercalados com subordinadas metavulcanoclásticas e formações ferríferas. Já o domínio metassedimentar é composto por metaritimtos, metargilitos, metasiltitos, metagrauvas, intercaladas com metavulcanoclásticas de caráter intermediário a ácido, tais como metatufos de cristal maciços a laminados, finos, e metalapilli tufos, além de metabasaltos e rochas metassedimentares químicas (formações ferríferas bandadas e oolíticas, *chert*). Separando as duas seqüências ocorre uma “zona de brechas ou rochas fragmentárias” consideradas sindeposicionais (e.g. ALMADA; VILLAS, 1999; VILLAS; SANTOS, 2001; DREHER; XAVIER, 2001) ou formadas por processos hidrotermais ou hidráulicos (e.g. TAZAVA; OLIVEIRA, 2000; RONZÊ et al., 2000; GROOVES; VIELREICHER, 2001). A unidade fragmentária está associada com a mineralização dos depósitos de Au e Cu, interpretado como hidrotermal epigenética (RONZÊ et al., 2000, TAZAVA; OLIVEIRA, 2000; TALLARICO et al., 2005 e outros) ou singenética, produto de atividade hidrotermal freática (ALMADA; VILLAS, 1999) e de fluxo de detritos (DREHER et al., 2005, 2008).

O ambiente deposicional das rochas vulcânicas e sedimentares têm sido considerado como distensivo de rift ensialico (e.g. GIBBS et al., 1986; DOCEGEO, 1988; OLSZEWSKI et al., 1989; OLIVEIRA et al., 1993; LINDENMAYER; FYFE, 1992; SACHS; BATISTA, 1994; WINTER, 1994; REQUIA; FONTBOTE, 2000; VILLAS; SANTOS, 2001; GALARZA; MACAMBIRA, 2002), relacionados a zonas de subducção (e.g. DARDENNE et al., 1988; MEIRELLES; DARDENNE, 1991; TEIXEIRA; EGGLER, 1994), num contexto de bacia *pull apart* posteriormente invertida num regime dúctil transpressivo (ARAÚJO et al., 1988, 1991).

Quanto à idade da gênese do Grupo Igarapé Bahia, os primeiros dados foram obtidos no valor de 2,57 Ga a partir da datação dos diques máficos, que truncam a unidade, pelo método Rb-Sr (FERREIRA FILHO, 1985; FERREIRA FILHO; DANNI, 1985). Posteriormente um intervalo adquirido em rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas deste grupo se deu entre 2745 ± 1 Ma e 2776 ± 12 Ma (TALLARICO et al., 2005; GALARZA, 2002; GALARZA; MACAMBIRA, 2002a; SANTOS, 2002). Com o avançar dos

meios técnicos, os dados geocronológicos obtidas em zircão por U-Pb SHRIMP e Pb-Pb, sugerem a idade de 2,75 Ga mais coerente para formação desta unidade (TALLARICO et al., 2005; GALARZA, 2002).

No entanto idades TDM variam entre 2,96 e 3,13 Ga acompanhadas por valores negativos de ϵ_{Nd} (– 0,85 a – 2,1; TALLARICO et al., 2005), composições isotópicas de Pb muito radiogênicas, além da presença de cristais de zircão herdados de 2,86 a 3,07 Ga nas rochas metavulcânicas e metavulcanoclásticas, sugerem evidências de uma crosta continental pré existente mesoarqueana quando da colocação deste magmatismo (GALARZA, 2002; GALARZA et al., 2003; SANTOS, 2002).

4.1.2 Formação Águas Claras

Sobreposta às sequências vulcano-sedimentares do Grupo Igarapé Bahia, aparentemente em discordância angular (BEISIEGEL et al., 1973; SIQUEIRA et al., 2001), encontra-se uma cobertura siliciclástica arqueana, não metamorfizada, distribuída amplamente na porção central da estrutura sigmoidal da Serra dos Carajás, definida inicialmente por Araújo et al. (1988) posteriormente redefinida por Nogueira et al. (1995) como Formação Águas Claras.

As rochas da Formação Águas Claras têm sido alvo de pesquisas geológicas paralelamente ao avanço do desbravamento da Amazônia. No entanto sua história até o estado atual do conhecimento passou por diversas inadequadas e incoerentes definições, posicionamento estratigráfico, errôneas correlações e interpretações sobre seu ambiente deposicional, por conta da falta de detalhamento sedimentológico e estratigráfico, visto que no primeiro momento almeja-se mais a busca por depósitos minerais.

Citadas primeiramente por Rego (1933), as rochas da Formação Águas Claras foram consideradas pertencentes ao Grupo Grão Pará. Mais tarde Barbosa et al. (1966) forneceu dados e descreveu unidades (ex. Formação Gorotire, Formação Rio Fresco, Formação Cubencráquem, entre outras) que tornaram-se, a partir da década de 80, padrão de correlação para todas coberturas sedimentares do Cráton Amazônico (CUNHA et al., 1984; DOCEGEO, 1988). Tolbert et al. (1968) denominou estas rochas “*clastic rock sequence*” pré-silurianas correlatadas da Formação Gorotire de Barbosa et al. (1966). Knup (1971) admitiu que esta correlação juntamente com a Formação Rio Fresco faziam parte de rochas pré-cambrianas Eopaleozóicas. Já Liandrat (1974) com semelhante raciocínio subdividiu a unidade de Knup

(1971) nas formações Igarapé do Ouro e Zé Gladstone, incluindo ainda a Formação Cubencráquem (BARBOSA et al., 1966) em outra unidade Eopaleozóica.

Estudos sedimentológicos e petrográficos de detalhamento foram efetuados por Ramos et al. (1983), Figueiras e Villas (1984) e Figueiras et al. (1987), sugerindo um ambiente deposicional para o pacote de origem lacustre e depósitos eólicos pontuais. Docegeo (1988) denominou de Grupo Rio Fresco (Proterozóico inferior) todas as unidades sedimentares da Província Mineral de Carajás. O termo Águas Claras surge a partir dos trabalhos de Araújo et al. (1988) e Araújo e Maia (1991), como unidade tectonoestratigráfica de gênese flúvio-lacustre depositada em bacia *pull apart*, estruturada em forma de flor positiva, ao longo do Sistema Transcorrente Carajás.

No entanto, foi tomando como base estudos de detalhamento com âmbito sedimentológicos e estruturais, de Nogueira et al. (1992, 1994 e 1995), Nogueira e Truckenbrodt (1994) e Nogueira (1995) que então formalizaram a Formação Águas Claras como unidade arqueana depositadas em bacia cratônica plataformal dominada por processos de tempestades, maré e fluviais que refletem uma sucessão de raseamento ascendente produzida pela progradação episódica de um sistema fluvial sobre uma linha de costa e plataforma marinha.

Sugeriram sua divisão nos membros a) inferior: constituído por siltitos, pelitos e arenitos muito finos subordinados, com estruturas tipo laminação plano-paralela, estratificação cruzada *hummocky*, marcas onduladas e de sobrecarga, interpretados como plataforma marinha influenciada por tempestades; e b) superior: caracterizado por arenitos finos a grossos e subordinados, ortoconglomerados e pelitos com estratificação do tipo plano-paralela, cruzada acanalada, *hummocky* e tabular, interpretadas como depósitos litorâneos (parte inferior) e fluviais entrelaçados (parte superior). O contanto entre os membros litoestratigráficos é gradacional.

O sistema deposicional Águas Claras já fora considerado como marinho transgressivo (SILVA et al., 1974; HIRATA et al., 1982; FERREIRA FILHO; DANNI, 1985), lagunar (MEIRELES et al., 1984; ARAÚJO; MAIA, 1991), deltáico (ARAÚJO; MAIA, 1991) e fluvial de rios entrelaçados com contribuição eólica (RAMOS et al., 1984; FIGUEIRAS; VILLAS, 1984; FIGUEIRAS et al., 1987; ARAÚJO; MAIA, 1991), onde todos estes, com exceção do fluvial, não foram devidamente comprovados.

Os estudos tectônicos de Pinheiro e Nogueira (2003), juntamente com dados de paleocorrentes da Formação Águas Claras apontam área fonte dos sedimentos a NE e depocentro a SW, indicando uma bacia mais ampla do que a exposta atualmente, além dos

domínios da estrutura sigmoidal de Carajás. Processos de tempestades e, principalmente, maré, coadunam com uma bacia mais ampla (NOGUEIRA; TRUCKENBRODT, 1991) o que torna incompatível a existência de uma bacia transtresiva, corroborando com os dados tectônicos regionais de Pinheiro e Holdsworth (1997) e Pinheiro (1997).

Relevantes contribuições petrográficas sobre a Formação Águas Claras foram feitas por Truckenbrodt et al. (1996) e Anaisse Jr. (1997), revelando o predomínio de quartzarenitos e sublitoarenitos com matriz ílítica pós-deposicional. Quanto à relação minério de Au-Cu/alteração hidrotermal foi apresentada por Soares et al. (1994) e Barros et al. (1994) tomando veios, diques e *sills* máficos, que truncam a unidade, como fontes de estudo.

A formação encontra-se dobrada e falhada nas regiões adjacentes ao segmento da Falha Carajás, de direção NW-SE, pela reativação da mesma durante um evento regional ocorrido entre 2,6 Ga e 1,9 Ga (PINHEIRO; HOLDSWORTH, 1997). A deformação possui caráter local, relacionado também a Falha Carajás, onde caracteriza-se por 1) zonas cataclásticas correspondentes a um conjunto secundário de falhas ao segmento da Falha Carajás, sendo importante conduto de fluidos hidrotermais; e 2) zonas dobradas e falhadas dominadas por tectônica transpressiva.

A idade máxima arqueana de 2,7 Ga é dada pela Assembleia do Embasamento, enquanto que a idade mínima de 1,8 Ga dar-se pela intrusão do Granito Carajás (MACHADO et al., 1991); nas assembleias do embasamento e cobertura. Por ser recortada por diques e soleiras máficas, algumas idades mínimas de deposição foram atribuídas a partir de zircões de intrusões gabróicas. Dias et al. (1996) pelo método discutível de evaporação Pb-Pb propôs 2,6 Ga, já Mougeot et al. (1996a) pelo método U-Pb deram a idade de 2708 ± 37 Ma para unidade. Trendall et al. (1998) determinaram uma idade de 2681 ± 5 Ma para grãos de zircão relacionado a um evento vulcânico sinsedimentar registrado no membro inferior da Formação Águas Claras. A datação Pb-Pb, discutível em zircões pois homogeniza as idades de borda e núcleo do cristal, foi bem sucedida em sulfetos disseminados em arenitos nesta unidade, fornecendo idade de 2,06 Ga por Mougeot et al. (1996b); mesma idade obtida em isótopos de ferro e enxofre por Nogueira et al. (1995) e Fabre et al. (2011) nos depósitos de Mn do Azul.

Contudo a idade de 2,06 Ga parece ser mais coerente para a Formação Águas Claras já que coincide com o megaevento de aumento do oxigênio atmosférico por volta de 2,2 Ga a 1,9 Ga (HOLLAND, 1994) agente controlador de precipitação de manganês, sendo assim, possível idade de formação dos depósitos de manganês do Azul, membro inferior da unidade. Assim, a idade de 2,06 Ga parece apontar para a idade de formação dos depósitos de manganês do Azul e coincide com o período de deposição de expressivos depósitos de

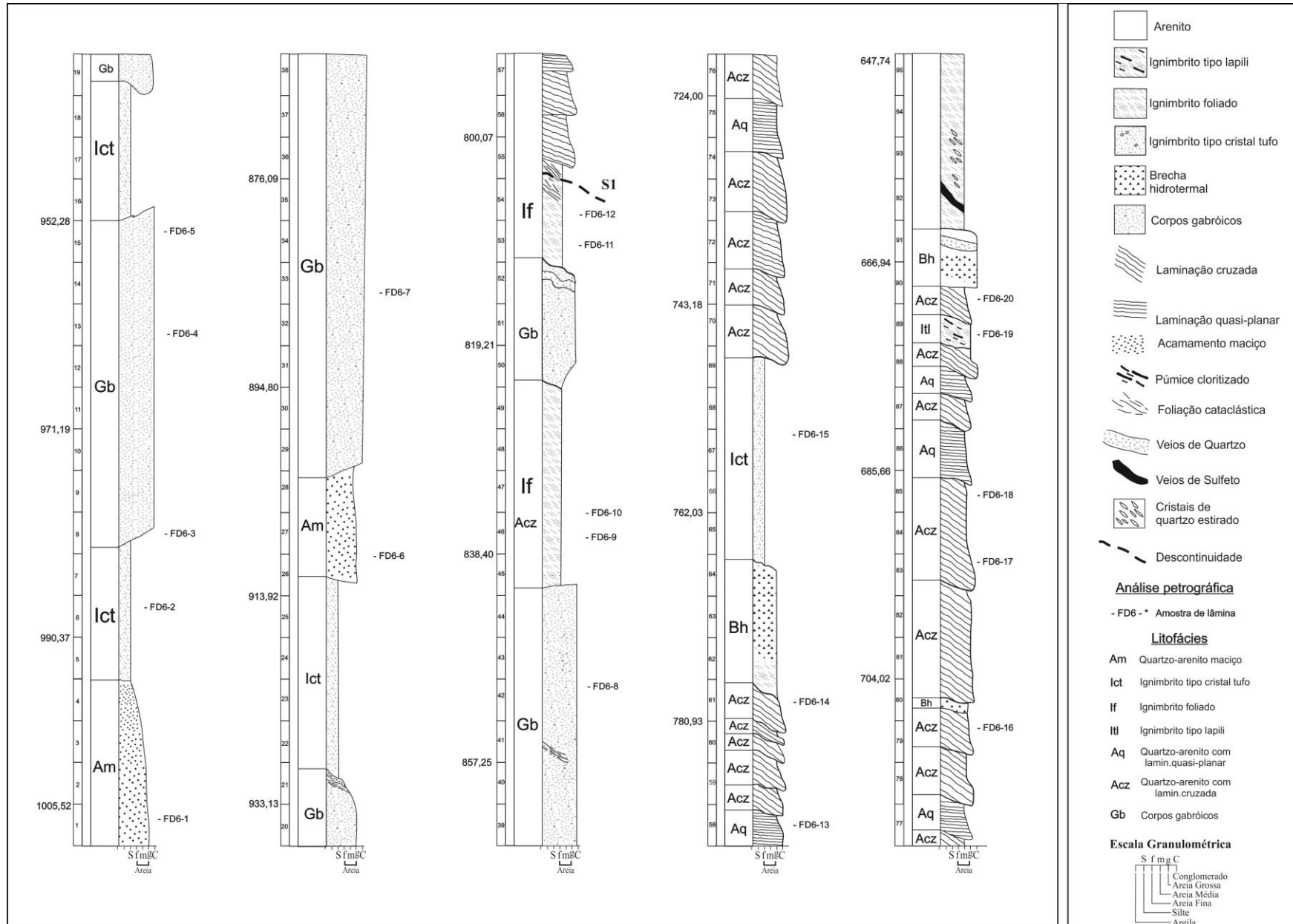
manganês pelo mundo, como aquele do Gabão, na África, mostrando assim a importância do entendimento destes depósitos para o Paleoproterozóico (Costa et al., 1995; Fabre et al., 2011).

4.2 ASPECTOS GERAIS

A sucessão vulcano-sedimentar observada no testemunho de sondagem AVL8-FD6 de 600 metros de espessura foi subdividida nas unidades Grupo Igarapé Bahia e Formação Águas Claras separadas por contato discordante erosivo S1 (Figura 4.1). O termo Águas Claras é inferido aqui para simplificar a nomenclatura estratigráfica da sucessão estudada, haja visto que na região do Igarapé Bahia, segundo a literatura, usa-se este termo para denominar as litofácies siliciclásticas de topo do testemunho. As rochas vulcanoclásticas, metassedimentares e metapiroclásticas do Grupo Igarapé Bahia passam para depósitos siliciclásticos com eventuais níveis de rochas vulcanoclásticas associadas, e por fim o predomínio das rochas siliciclásticas, apresentando estruturas sedimentares bem definidas. Ignimbritos e quartzo-arenitos são os litotipos predominantes, classificados no tipo cristal tufo e com foliação, esta última, interpretada como planos primários de fluxo mascarados por deformação e alteração posterior. Corpos gabróicos intrusivos são frequentemente observados, muitas vezes, perfazendo mais de 50 metros do testemunho (Figura 4.1). Brechas hidrotermais (Bh) são comumente observadas. Em geral, as rochas exibem evidência de processos de hidrotermalismo tais como carbonatação e cloritização, este último, responsável pela intensa autigênese de clorita que forneceu uma coloração esverdeada aos litotipos.

As rochas siliciclásticas da Formação Águas Claras vão se espessando em direção ao topo, porém, ainda é observado depósitos piroclásticos testemunhados através de ignimbritos tipo cristal tufo e lapili em meio aos arenitos laminados do topo.

Figura 4.1 – Perfil estratigráfico da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica da Serra dos Carajás. S1: contato erosivo que distingue as unidades Grupo Igarapé Bahia e Formação Águas Claras.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.1 – Descrição e processos das litofácies da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica da Serra dos Carajás.

Código	Litofácies	Descrição	Processo
Am	Quartzo-Arenito maciço cloritizado	Quartzo-arenito de granulometria areia grossa, cor verde acinzentado, com boa seleção, moderada esfericidade e contornos subarredondados a subangulosos.	Deposição contínua de sedimentos com posterior modificação devido a processos de liquefação.
Ict	Ignimbrito tipo cristal tufo	Ignimbritos de coloração cinza esverdeado, granulação fina, marcado por textura fluidal.	Depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas.
If	Ignimbrito foliado	Coloração cinza esverdeado, granulação média, textura foliada de fluxo laminar.	Depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas.
Acz	Quartzo-arenito com laminação cruzada	Quartzo-arenitos de coloração cinza esverdeado, de granulometria média a grossas, subarredondados a subangulosos, com sets variando entre 0,5 a 1,0 cm de espessura	Migração de formas de leito 2D sob fluxo unidirecional e regime de fluxo inferior.
Aq	Quartzo-arenito com laminação quasi-planar	Quartzo-arenitos médios a grossos, de coloração cinza esverdeado, possuindo boa seleção e esfericidade, e grãos subangulosos a subarredondados.	Fluxo unidirecional em regime energético inferior, num ambiente subaquoso.
Itl	Ignimbrito tipo lapili	Ignimbrito de coloração cinza claros, granulometria lapili, textura fluidal, composto por cristaloclastos, litoclastos e <i>pumices</i> cloritizadas	Depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas.

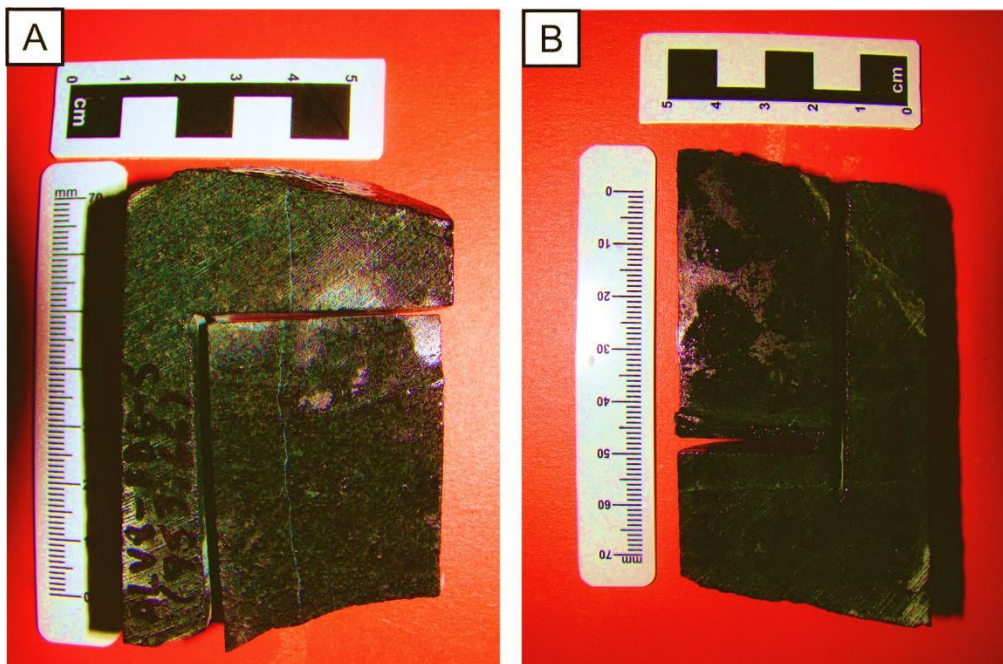
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 ROCHAS INTRUSIVAS

Corresponde a corpos gabróticos relacionados a intrusões de diques máficos posteriores que truncam tanto a unidade Grupo Igarapé Bahia quanto a Formação Águas Claras. Na sucessão ocorrem cortando principalmente o Grupo Igarapé Bahia (AVL8-FD6-3-982,3 m; AVL8-FD6-4-962 m; AVL8-FD6-5-953,66 m; AVL8-FD6-7- 886,5 m; AVL8-FD6-848,7 m) chegando a atingir grandezas entre 30-50 metros de espessura.

Trata-se de rocha de coloração verde escura, fanerítica, holocristalina, equigranular, granulação fina (Figura 4.2), com cristais subedrais menores que 1 mm, com índice de cor melanocrática (M=68%). Macroscopicamente a textura granular ígnea é bem preservada, porém apresenta-se cloritizada incipientemente por palhetas de granulação muito fina e presença de criptocristais anédricos disseminados de sulfetos, com coloração amarelada e brilho metálico.

Figura 4.2- Foto da amostra representativa dos corpos gabróticos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto aos aspectos petrográficos analisados exibe um arranjo textural principal do tipo ofítico a subofítico ressaltado pela trama das ripas euédricas de plagioclásio, dispostas aleatoriamente, envolvidas total ou parcialmente por cristais de anfibólio (Figura 4.3 A, B, C e D). Ainda, registra-se textura granofírica de maneira secundária evidenciada pela exsolução de sílica e cristalização de quartzo intercrescido com feldspato de forma vermicular (Figura 4.4. C e D). A assembleia mineralógica que compõe a rocha é dada por mineiras essenciais de plagioclásio (52%), hornblenda (25%), clorita (12%), quartzo (5%), e acessórios tais como minerais opacos (3%), sericita (2%), carbonato (1%) e zircão (<1%).

O plagioclásio, cerca de 53%, encontra-se na forma de cristais prismáticos com tamanho entre 500µm a 900µm, incolores, euédricos, com planos de geminação (maclamento) em arranjo polisintético bastante mascarados pela intensa alteração sericítica no qual encontra-se as ripas (Figura 4.3 C e D) tornando assim difícil o reconhecimento e distinção da razão albita-anortita que compõe o plagioclásio.

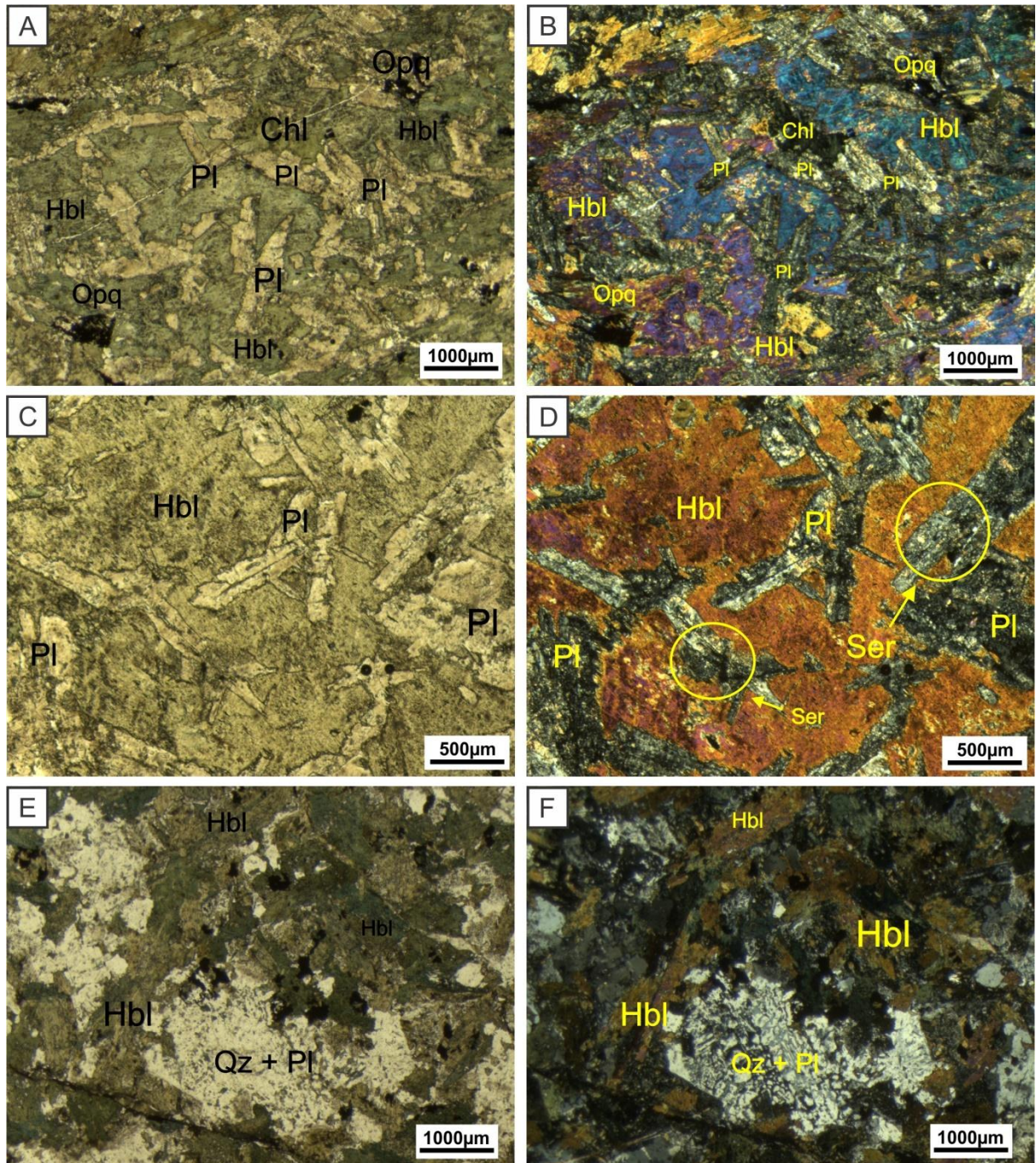
Envolvendo as ripas de plagioclásio e caracterizando a microtextura principal da rocha, identifica-se os anfibólios do tipo hornblenda cerca de 25%, de coloração verde musgo, cristais euédricos a subédricos, maiores que 2 mm, geminados, com pleocroísmo acentuado, variando de verde a amarelo pálido e cor de interferência de 2ª ordem.

Distribuídos de maneira intersticial da trama ofítica-subofítica têm-se as lamelas de clorita perfazendo 12% do total, são cristais muito finos, menores que 50µm. Como propriedades diagnósticas possuem coloração verde musgo, hábito lamelar, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido.

Quanto ao quartzo (5%) se dá de forma discreta de cristais anédricos, pouco fraturados, extinção levemente ondulante e intercrescido com plagioclásio fruto de exsolução na textura granofírica, sugerindo rápida ascensão e alojamento sob condições hipoabissais (Figura 4.3 E e F; Figura 4.4 C e D).

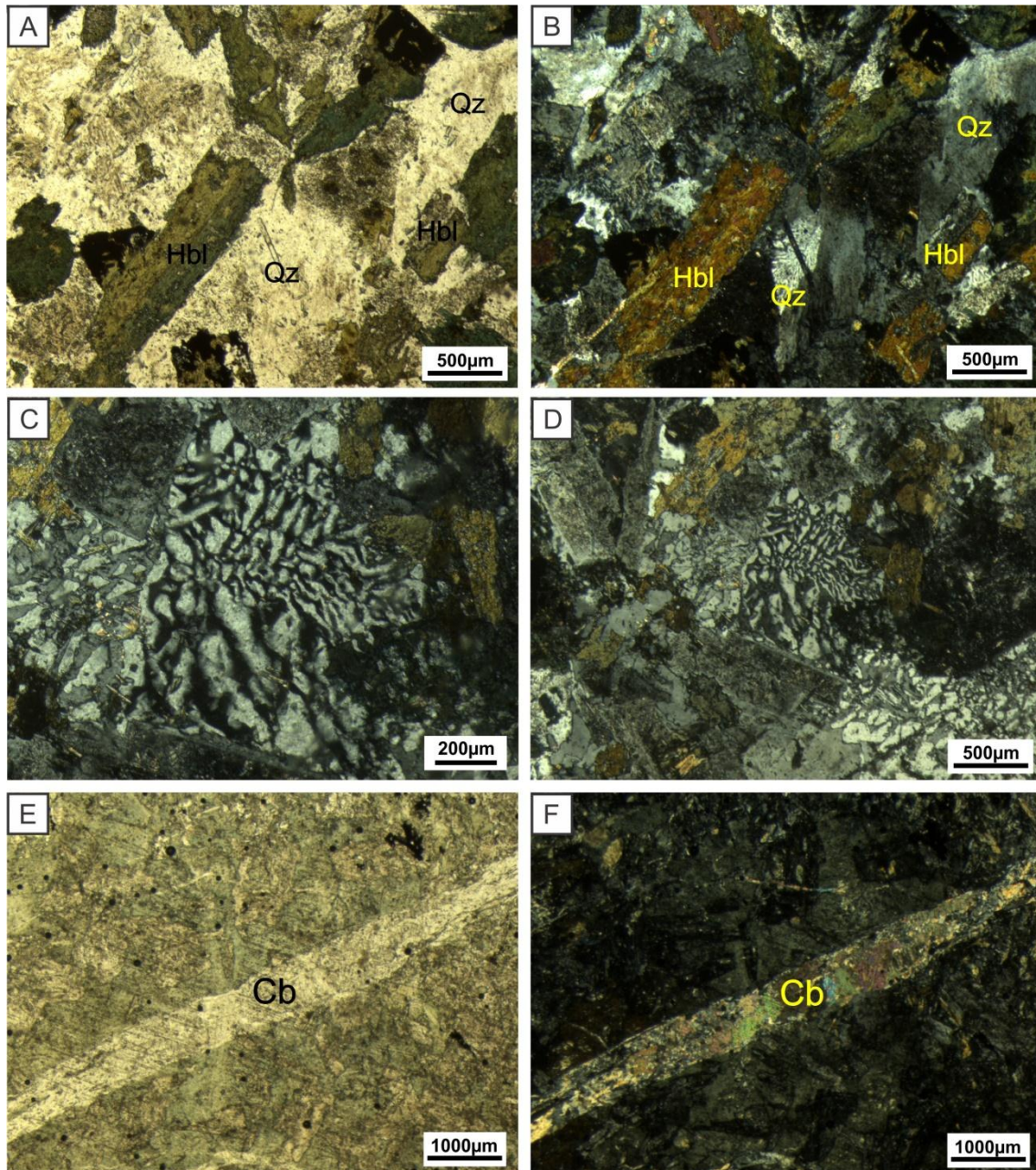
Os minerais acessórios, em geral, são anédricos e subédricos, juntos perfazem menos que 5% da rocha. Os minerais opacos (3%) são anédricos, de coloração preta na luz transmitida, podendo ser relacionada aos sulfetos já descritos macroscopicamente. A sericita, mineral micáceo muito fino, encontra-se associado aos cristais de plagioclásio, fruto da intensa alteração sericítica que marca tais minerais. O carbonato se faz presente como preenchimento de vênulas na rocha, estando diretamente ligado ao mesmo processo hidrotermal que precipitou os aglomerados intersticiais de clorita (Figura 4.4 E e F).

Figura 4.3 - Fotomicrografias dos aspectos petrográficos do litotipo Gabro. (A) e (B) Textura ofítica-subofítica ressaltado pela trama das ripas euédricas de plagioclásio dispostas aleatoriamente envolvidas total ou parcialmente por cristais de anfibólio. (C) e (D) Detalhe de cristais de anfibólio envolvendo as ripas de plagioclásio. (E) e (F) Textura granofírica secundária. Fotos (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.4 - Fotomicrografia dos aspectos petrográficos dos corpos gabróicos (A) e (B) Cristais euédricos de anfibólio em meio a textura granofírica secundária. (C) e (D) Detalhe da exsolução de sílica e cristalização de quartzo intercrescido com feldspato de forma vermicular. (E) e (F) Vênulas de carbonato associado a carbonatação . Fotomicrografias (A) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (C), (D) e (F) com nicóis cruzados (NX).



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 LITOFÁCIES E PETROGRAFIA

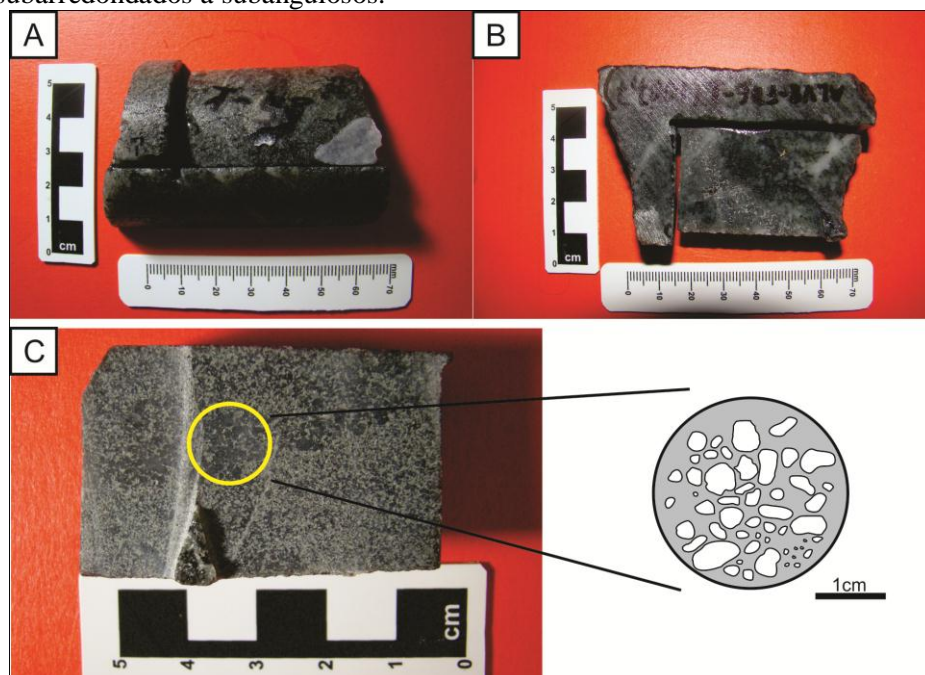
4.4.1 Grupo Igarapé Bahia

4.4.1.1 Litofácies Am – Quartzo-arenito maciço cloritizado

Corresponde a fácies formada por quartzo-arenito grosso (AVL8-FD6-1-1000,7m e AVL8-FD6-6-909,2m) de coloração verde acinzentada, caracterizada pelo acamamento maciço. Em sua trama textural apresenta ampla recristalização dos grãos que sustentam o arcabouço da rocha, acompanhado de intensa cloritização intersticial que se assemelha a cimento (Figura 4.5C), se não fossem fruto de autigênese hidrotermal que afetam grandemente a região. O que se observa sobre a forma dos grãos modificados é uma boa seleção, moderada esfericidade e contornos subarredondados a subangulosos. Ainda, é cortada por vênulas preenchidas por quartzo e clorita (Figura 4.5B), variando entre 2-3mm de espessura, cicatrizando a trama da rocha. Pontualmente verifica-se sulfetos, possivelmente calcopirita, também na forma de vênulas com menor espessura (<1mm).

A presença de acamamento maciço sugere deposição contínua de sedimentos, posteriormente modificada por processos de liquefação, que implicou na ausência de estruturas sedimentares (LINDHOLM, 1987).

Figura 4.5 - Aspectos macroscópicos da litofácies Arenito maciço (Am). A) Fragmento chave do testemunho de sondagem correspondente a amostra AVL8-FD6-1-1000,7m B) Arenito maciço cloritizado e cortado por vênulas de quartzo C) Trama textural da litofácies sustentada por grãos modificados acompanhados de cloritização intersticial semelhante a matriz; e detalhe do arcabouço e seus grãos subarredondados a subangulosos.



Fonte: Elaborado pelo autor

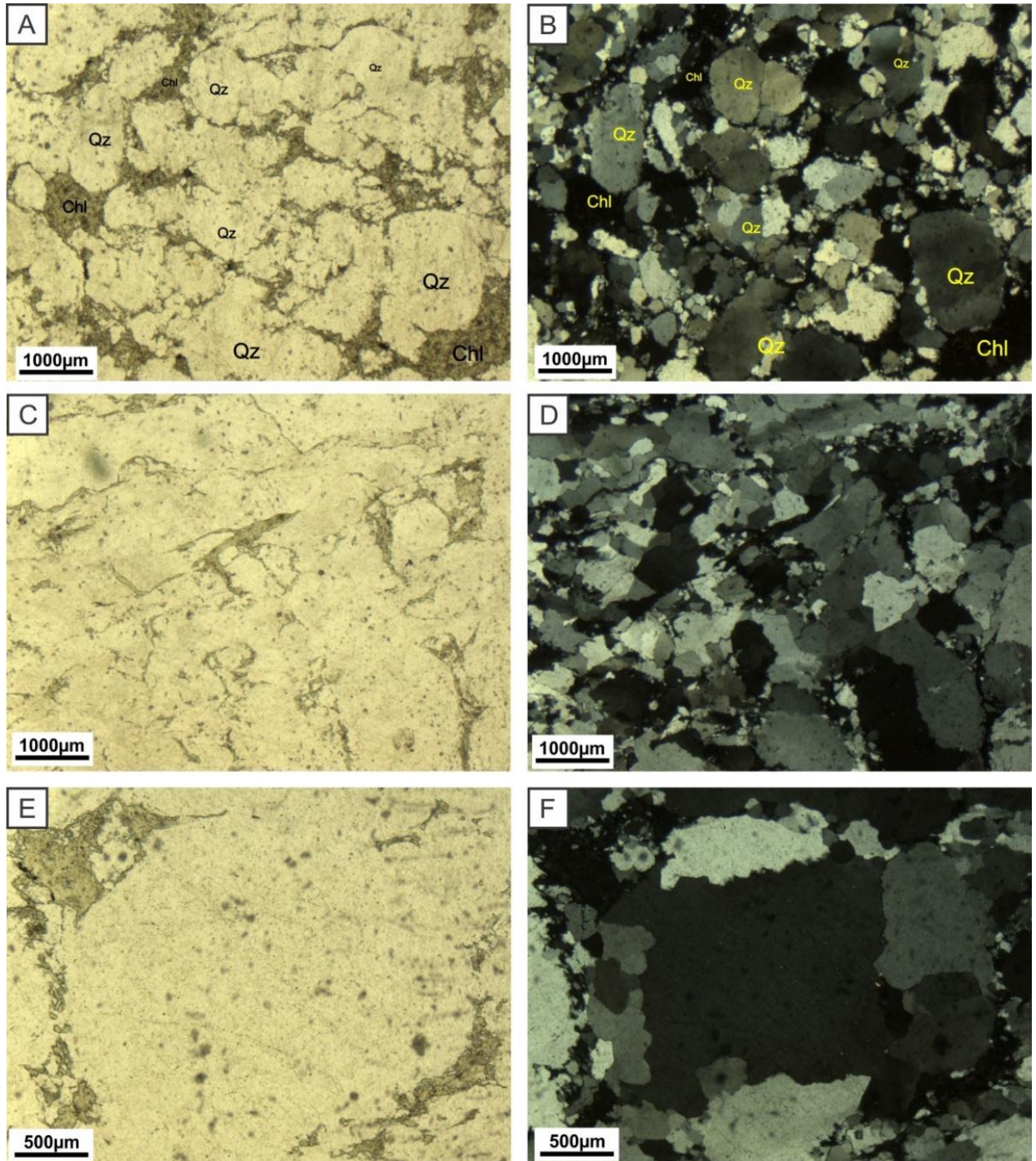
No que se refere aos aspectos petrográficos analisados, a fácies exibe uma textura sedimentar reliquiar caracterizada pela forma e contornos de grãos que sustentam um arcabouço pretérito, associado a um aglomerado mineral intersticial composto majoritariamente por clorita autigênica (Figura 4.6 A) hidrotermal. Apresenta considerável grau de deformação e recristalização nos grãos de composição quartzosa evidenciadas pela ampla formação de cristais anédricos na forma de subgrãos, contornos serrilhados, retrabalhamento de bordas e forte extinção ondulante. É composta essencialmente por quartzo (76%) e clorita (18%), tendo como acessórios lamelas de sericita (2%), opacos (2%), titanita (1%) e zircão (<1%).

O quartzo perfaz cerca de 76%, se dá na forma de grãos e cristais anédricos fruto de recristalização compondo essencialmente o arranjo textural da litofácies. É incolor, extinção ondulante forte, pouco fraturado, com tamanho médio variando em 800 μ m a 1000 μ m. Como grão possui contornos subangulosos a subarredondados, moderada esfericidade e boa seleção. Exibe-se como cristais anédricos de bordas (Figura 4.6 A) serrilhadas, quando constitui subgrãos de quartzo (Figura 4.6 E e F) e em agregados recristalizados destacando forte extinção ondulante e textura granoblástica (Figura 4.6 C e D).

A clorita confere cerca de 18% do litotipo, está distribuída de maneira intersticial aos grãos e cristais de quartzo, além de preencher vênulas já observadas (Figura 4.7A). Possui caráter secundário, fruto de processos hidrotermais, dispondo-se na forma de aglomerados juntamente com minerais tais como titanita, sericita, zircão e minerais opacos (Figura 4.7 B, C e D). Como propriedades diagnósticas possui hábito lamelar, tamanho inferior a 200 μ m, coloração verde musgo, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido.

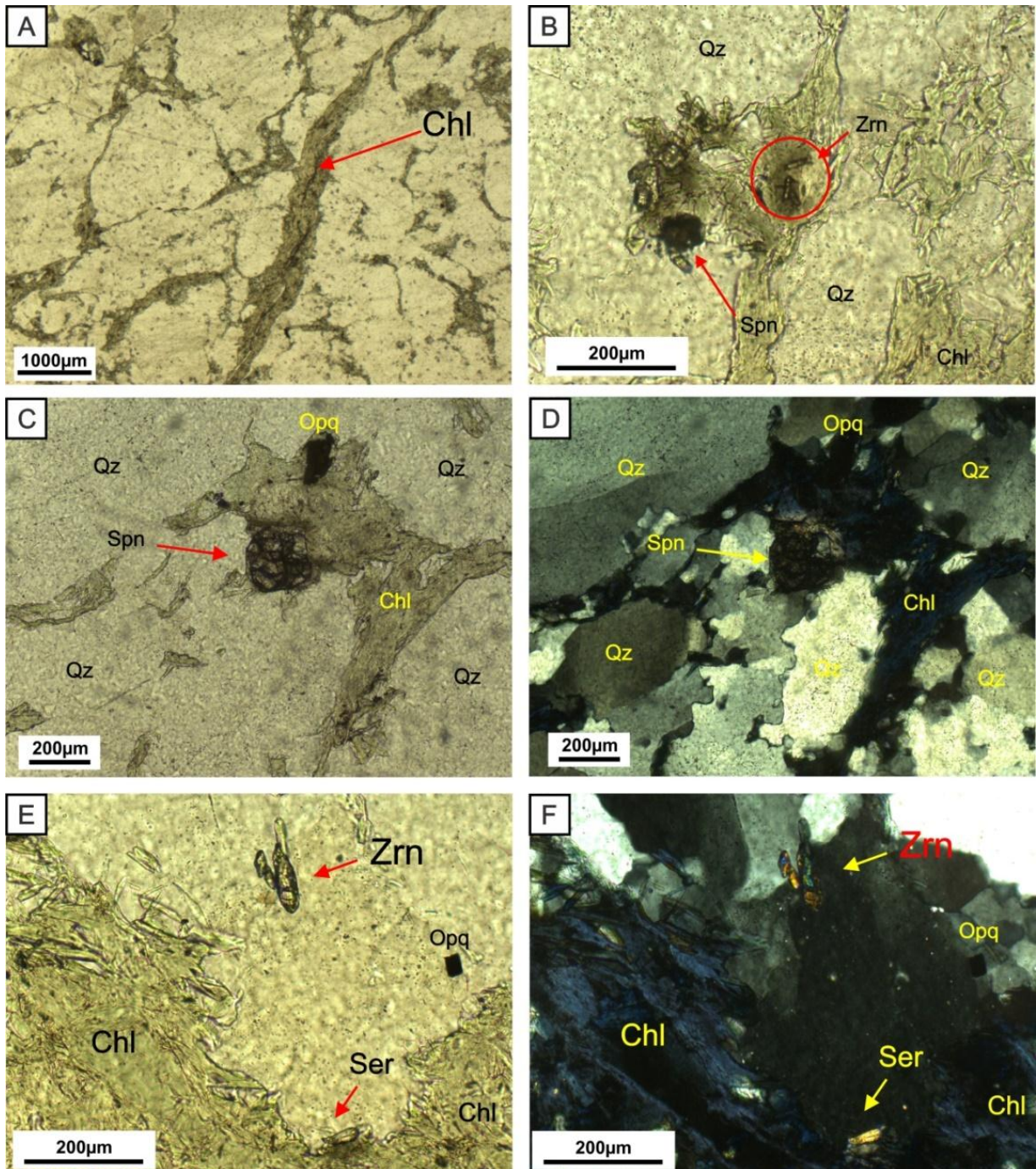
O mineral sericita ocorre de forma acessória, apenas 2%, como pequenos cristais lamelares, incolores, na ordem inferior a 50 μ m, euédricos a subédricos, associado aos aglomerados de clorita, assim como a titanita, os opacos e o zircão. A titanita (1%) se dá na forma de cristais anédricos, muito fraturados, coloração castanho-claro, relevo alto, cor de interferência muito alto a anômala, atingindo tamanho entre 100 μ m a 200 μ m (Figura 4.7 C e D). Quanto aos demais acessórios destaca-se os cristais euédricos de zircão (<1%) incolores, de relevo alto, extinção reta, cor alta de interferência, atingindo a grandeza de 100 μ m a 150 μ m (Figura 4.7 E e F). Por fim os minerais opacos se encontram pouco presentes no litotipo, apenas 2%, correspondendo a cristais anédricos de cor negra (Figura 4.7 E)

Figura 4.6 - Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Quartzo-arenito maciço (Am). (A) e (B) Textura principal da litofácies, sustentada por grãos de quartzo (Qz) imersos numa aparente matriz de Clorita (Chl). (C) e (D) Feições de deformação evidenciando agregados recrystalizados de quartzo (Qz) com forte extinção ondulante. (E) e (F) Detalhe do grão de quartzo deformado na forma de subgrão. Fotos (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //); já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.7 - Fotomicrografias de luz transmitida revelando aspectos texturais e mineralógicos da Litofácies Am. Siglas minerais segundo Whitney e Evans (2010). (A) Vênulas preenchidas por clorita (Chl). (B) Assembleia mineralógica presente, basicamente quartzo (Qz) e clorita (Chl), com destaque para os minerais acessórios titanita (Spn) e agregados de zircão (Zrn). (C) e (D) Cristal anedral de titanita (Spn) bastante fraturado associado a clorita (Chl) e minerais opacos (Opq). (E) e (F) Detalhe da matriz composta por finas lamelas de clorita (Chl) intertiscial aos grãos de quartzo (Qz); destaque aqui a presença de cristais euédricos de zircão (Zrn) e lamelas de sericita (Ser) muito finas, em meio a grande massa azul conferida pela cor anômala de interferência da clorita em nicóis cruzados (NX).



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.1.2 Litofácies Ict – Ignimbrito tipo cristal tufo

Esta fácies é representada por ignimbritos tipo cristal tufo (AVL8-FD6-2-987m e AVL8-FD6-15-752,4m) de coloração cinza esverdeado, granulação fina, caracterizados por textura porfirítica composta de fenocristais esbranquiçados imersos em uma matriz afanítica esverdeada. Apresenta uma foliação incipiente marcada pelos fenocristais esbranquiçados orientados preferencialmente, semelhantes a *fiammes* (?), com formas achatadas e alongadas (Figura 4.8). Ademais, está truncada por vênulas preenchidas por clorita.

A gênese da fácies está ligada a depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas, aqui evidenciadas pela incipiente foliação e aspecto fracamente laminar do litotipo.

Figura 4.8 – Amostra representativa da litofácies Ignimbrito tipo cristal tufo e suas principais feições macroscópicas: coloração verde escura com foliação incipiente observada por finos cristais esbranquiçados



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise petrográfica permitiu a caracterização da litofácies num arranjo microtextural moderadamente laminar com aspecto fluidal ressaltado pela orientação dos minerais componentes da matriz que contornam cristaloclastos constituídos essencialmente de quartzo (Figura 4.9 A e B). No que se refere a matriz, corresponde a um agrupamento mineral constituído majoritariamente de clorita mais opacos, titanita, sericita, biotita e zircão. A composição distinguida é dada essencialmente por quartzo na forma de cristaloclastos (42%), litoclastos (9%), clorita (32%), biotita (5%), sericita (3%), minerais opacos (3%), titanita (2%), anfibólio reliquiar (2%), carbonato (1%) e zircão (<1%).

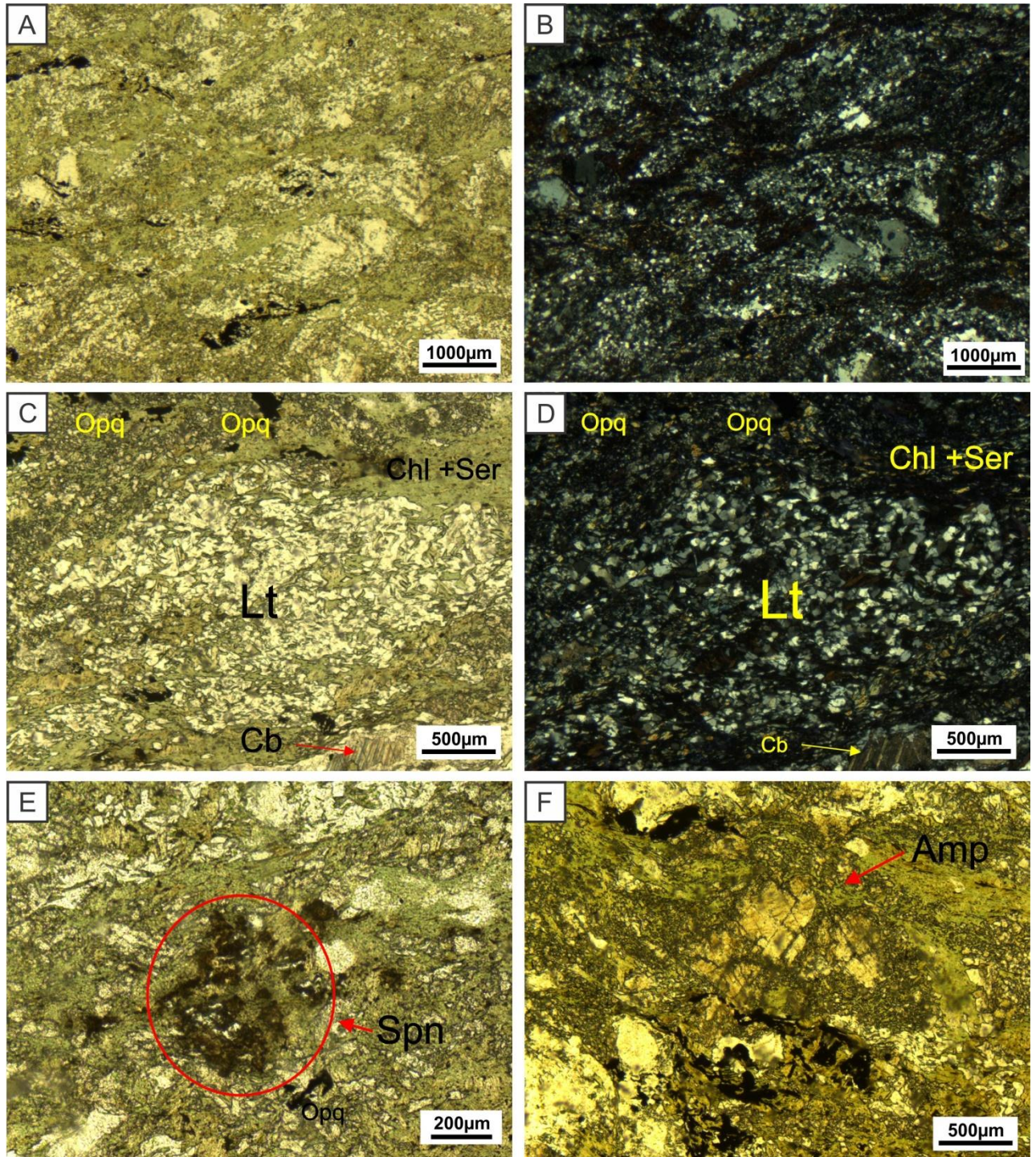
Os cristaloclastos são essencialmente de quartzo, de tamanho médio de 800µm a 1200µm (0,8-1,2mm) dentro do intervalo granulométrico de cinzas ou tufos. Perfaz cerca de 42% do litotipo, possui arredondamento moderado variando de subangulosos a subarredondados, contornos serrilhados, média esfericidade, extinção ondulante e pouco fraturamento.

Os litoclastos, por sua vez, distinguem-se como agregados de quartzo, cerca de 9%, com contatos poligonais, no entanto há também associação destes grãos com aglomerados de quartzo-clorita-sericita, oriundos prováveis da interação metassomática com os fluidos hidrotermais (Figura 4.9 C e D).

A clorita possui papel constituinte da matriz do litotipo (32%) juntamente com sericita, biotita, minerais opacos e zircão. É de caráter secundário, sendo oriunda de processos hidrotermais. Possui hábito lamelar, tamanho inferior a 100µm, coloração verde musgo, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido. Ademais encontra-se preenchendo vênulas juntamente com carbonato em toda a fácies.

A sericita se dá na forma de finas palhetas incolores encontradas tanto na matriz clorítica quanto associada ao aglomerado dos litoclastos, sendo apenas 2%. Assim como o mineral anterior, têm-se a titanita (2%), os minerais opacos (3%) e o zircão (<1%) compondo essa trama da matriz. A titanita encontra-se na forma aglomerados, castanho-claros, relevo alto e cor de interferência anômala. (Figura 4.9 E). Quanto as biotitas (5%) e anfibólios observados são secundários oriundos prováveis de metamorfismo mascarado pela ação hidrotermal, visto que os cristais de anfibólios apresentam-se como relictos, bastante deformados e destruídos, sendo a única propriedade diagnóstica restante foi as direções de clivagem em sessões romboédricas basais (Figura 4.9 F).

Figura 4.9 - Fotomicrografias de luz transmitida revelando aspectos texturais e mineralógicos da litofácies Ict. Siglas mineralis segundo Whitney e Evans (2010). (A) e (B) Aspecto fluidal ressaltado pela orientação dos minerais componentes da matriz que contornam cristaloclástos constituídos essencialmente de quartzo. (C) e (D) Detalhe dos litoclástos envolvidos por matriz de clorita (Chl) e aglomerados de sericita (Ser), opacos (Opq) e carbonato (Cb). (E) Aglomerados de titanita anedral (Spn). (F) Cristal romboédrico de anfibólio reliquiar (Amp).

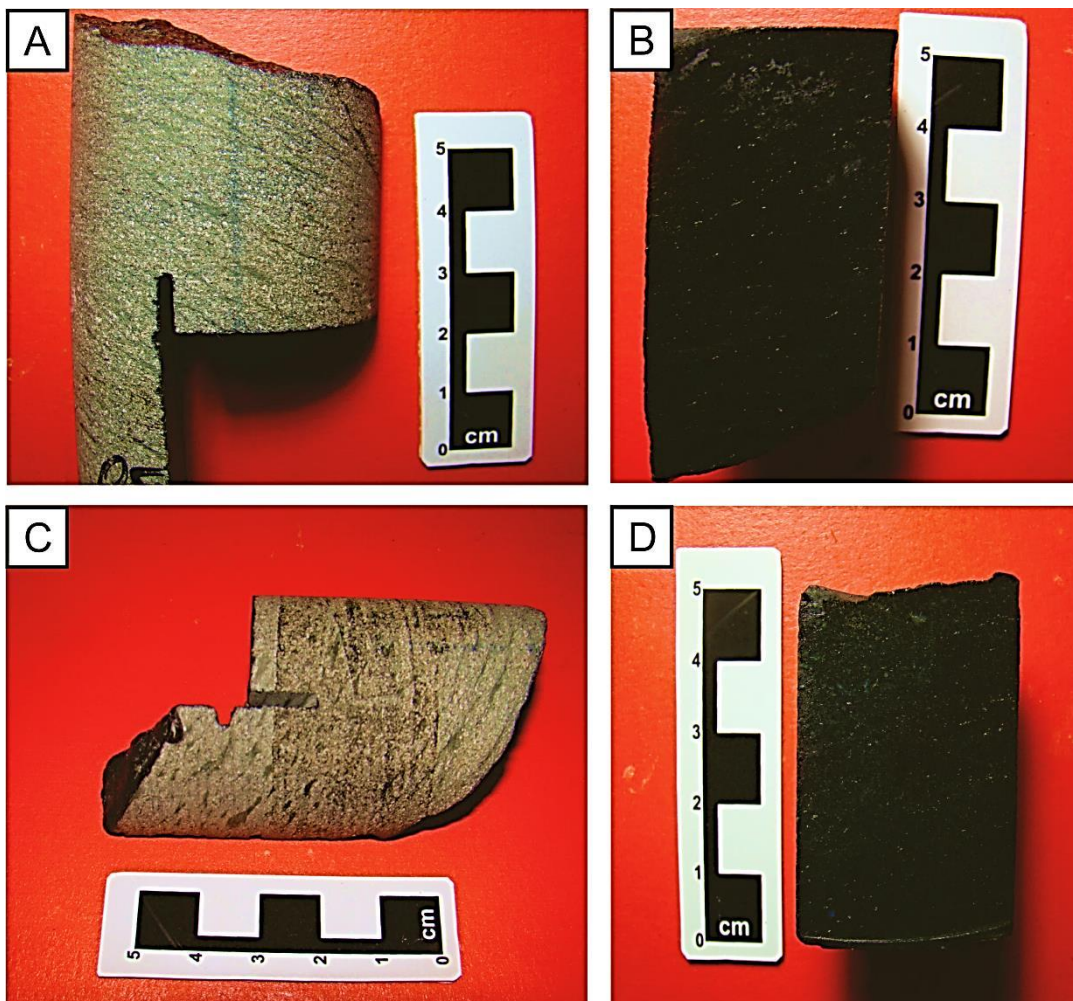


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1.3 Litofácies If - Ignimbrito foliado

Esta fácies é representada por Ignimbritos foliados (AVL8-FD6-9-834 m; AVL8-FD6-10-834,56 m; AVL8-FD6-11-803m; AVL8-FD6-12-802,45m) de coloração cinza esverdeado, granulação média, exibindo discreta foliação evidenciada pela orientação dos minerais e agregados lamelares de clorita, atingindo a ordem de 10 mm no maior comprimento (Figura 4.10). Aparentemente a leve foliação sugere fluxo laminar combinado com estruturas achatadas e alongadas observadas em cristais de quartzo, semelhantes a *fiammes*, remetendo que a fácies está ligada a depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas.

Figura 4.10 - Amostras representativas da litofácies If mostrando ignimbritos de coloração cinza esverdeado com foliação ressaltada pela orientação dos minerais e agregados lamelares de clorita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

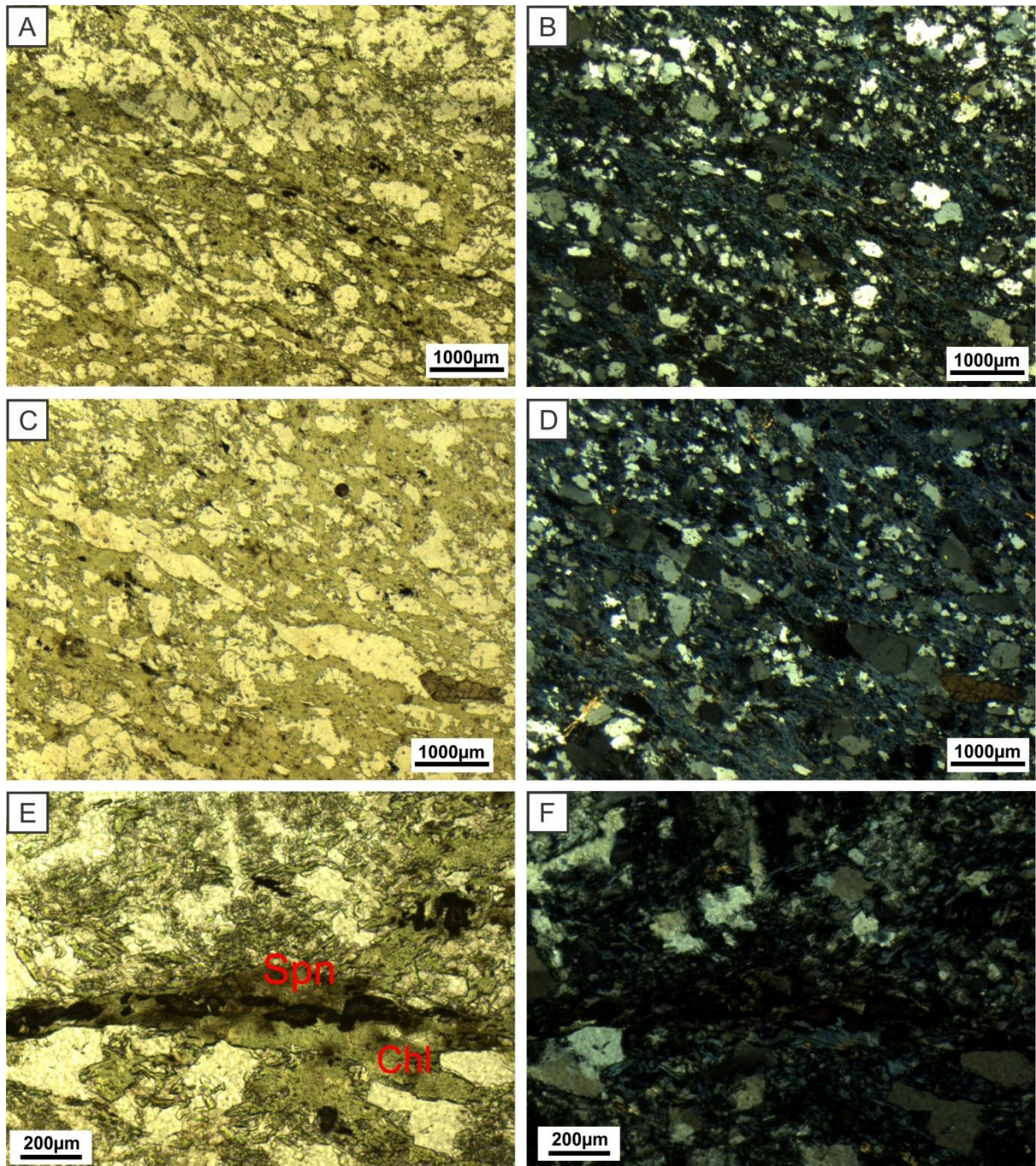
As características microestruturais exibidas são de arranjo textural laminar/foliado realçado pela orientação planar de grãos/cristais de quartzo juntamente com agregados de clorita + titanita + opacos + zircão, estes últimos desenhando uma trama de matriz plástica com fluxo (Figura 4.11 A e B). Ademais feições de deformação foram observadas na forma de grãos de quartzo lenticularizados, achatados e formando subgrãos; estes se assemelham bastante com *fiammes* (Figura 4.11 C e D), características de depósitos piroclásticos de fluxo. Além disso, há uma aparente cominuição dos clastos em zonas de deformação.

Nesse contexto a clorita se comporta como matriz associando-se a minerais tais como titanita e opacos na forma de aglomerados (Figura 4.11 E e F). A composição mineralógica é dada essencialmente por clastos de quartzo (66%), clorita (28%), titanita (2%), minerais opacos e zircão (<1%).

Os grãos de quartzo são subangulosos a subarredondados, de tamanho variando entre 300µm a 600µm, com baixa esfericidade e moderada seleção. Encontram-se com bordas serrilhadas e moderadamente fraturados (Figura 4.12 A e B). Características de deformação já citadas são presença de subgrãos e cominuição, ou seja, “tritramento” de grãos. Ademais foram observadas clastos modificados, de geometria lenticular, achatados e alongados (Figura 4.11 C e D), semelhante a *fiammes*, diagnósticas de depósitos piroclásticos, possível evidência mascarada pela ação metassomática do hidrotermalismo. Ainda notou-se, de maneira discreta, feições de engolfamento ou embaçamento (Figura 4.12 C e D) em alguns grãos, análogo a quartzo vulcânico (Figura 4.12 E e F).

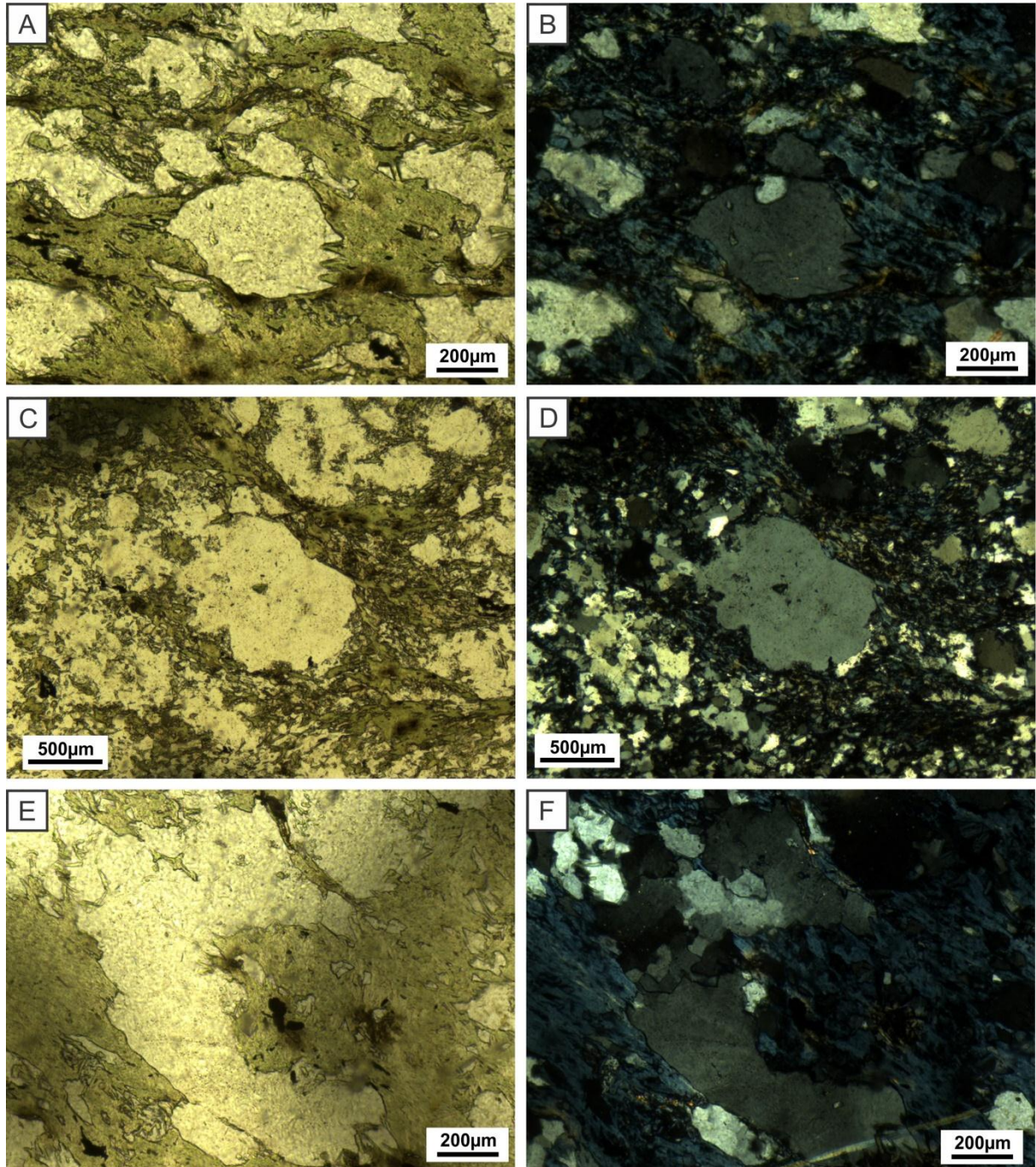
A clorita perfaz cerca de 28% do litotipo, tem comportamento equivalente a uma matriz envolvendo os clastos e ressaltando a textura laminar. Apresenta-se em maioria como lamelas finas, agregadas a titanita, opacos e zircão. Nesta e nas demais fácies possui caráter secundário, sendo oriunda de processos hidrotermais. Com tamanho de ordem inferior a 50µm, as lamelas são coloração verde musgo, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido. Quanto aos cristais de titanita (2%) chegam a tamanhos superiores a 400µm, são castanhos-claros, relevo alto e sempre como aglomerados associados as cloritas (Figura 4.11 E e F)

Figura 4.11- Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito foliado (If). (A) e (B) Textura principal da fácies de aspecto fracamente laminar realçado pela orientação dos cristais de quartzo em meio a matriz desenhando uma trama plástica com fluxo. (C) e (D) Detalhe de cristais de quartzo (Qz) achatados e alongado semelhante a *fiammes* (E) e (F) Cristais anedrais de titanita (Spn) associados a matriz de clorita (Chl) . Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (NX).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.12- Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito foliado (If). (A) e (B) Cristais de quartzo com bordas serrilhadas. (C) e (D) Detalhe de cristais de quartzo (Qz) com discreto embaimaneto. (E) e (F) Cristais de quartzo semelhante a quartzo vulcânico. Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Em (B), (D), e (F) nicóis cruzados (NX).



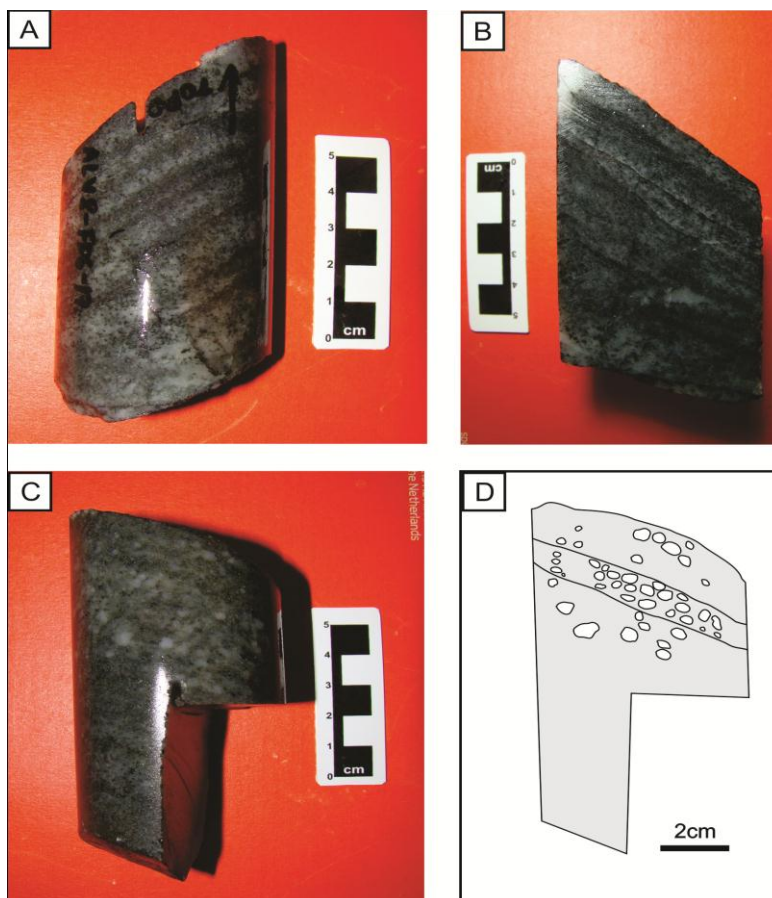
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Formação Águas Claras

4.4.2.1 Litofácies Acz – Quartzo-arenito com laminação cruzada

Esta fácies é representada por quartzo-arenitos (AVL8-FD6-14-774,2m ; AVL8-FD6-16-708,1m; AVL8-FD6-17-696,5m; AVL8-FD6-20-671,2m) médios a grossos, de coloração cinza esverdeados, com laminação cruzada planar. (Figura 4.13). Apresenta-se numa textura de grãos ou “pseudomorfos” de quartzo fortemente recristalizados, embora, podendo resgatar ainda visíveis contornos subangulosos a subarredondados imersos numa massa esverdeada essencialmente composta por lamelas de clorita. A composição mineralógica é simplória, sendo os grãos constituídos essencialmente de quartzo (80%) e a massa envolvente de clorita (20%). Os sets da laminação cruzada variam entre 0,5 a 1,0 cm de espessura. A ocorrência de laminação cruzada em arenitos finos a médios pode se dar pela migração de formas de leito 2D sob fluxo unidirecional e regime de fluxo inferior.

Figura 4.13 - Aspectos macroscópicos da litofácies Quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz), evidenciando a estrutura preponderante da fácies, laminação cruzada com sets variando de 0,5 a 1 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

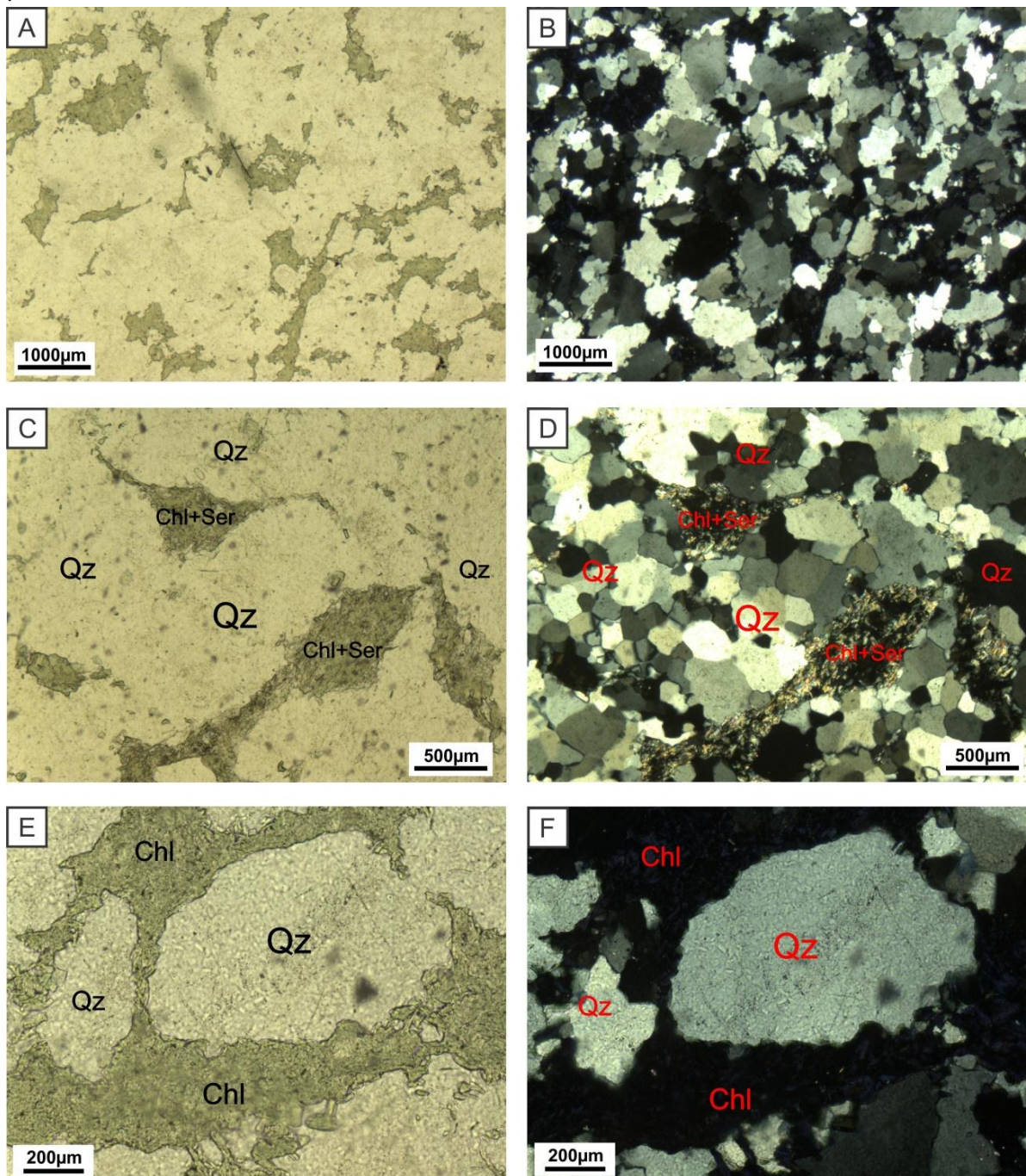
A análise petrográfica permitiu a distinção de uma textura relíquia de arcabouço sedimentar, sustentado por grãos essencialmente de quartzo, numa trama de forte modificação e recristalização (Figura 4.14 A e B), em meio a uma matriz secundária de clorita acompanhada de finas lamelas de sericita (Figura 4.14 C e D). A constituição da mesma é dada por quartzo (71%), clorita (24%), finas palhetas de sericita (3%), minerais opacos (1%) e acessórios de zircão (<1%).

O quartzo perfaz cerca de 71% do litotipo, ocorre na forma de grãos de contorno visível e cristais anédricos com bordas serrilhadas a suturadas em zonas deformacionais da rocha. Os grãos possuem tamanhos variando de 600µm a 900µm, subangulosos a subarredondados, baixa esfericidade e moderada seleção. São incolores, extinção ondulante forte, e apresentam-se amplamente deformados dando origem aos cristais anédricos que compõe subgrãos, fruto de recristalização (Figura 4.14 C e D). Observa-se cristais anédricos também em feições de cominuição, de tamanho inferior a 200 µm, no que aparenta ser zonas ou “corredores” de deformação (Figura 4.15 C e D)

O mineral clorita corresponde a cerca de 24% da rocha, coloração verde musgo, pleocroísmo fraco (verde claro a amarelo pálido), cor de interferência anômala (azul) dispõe-se na forma de agregados lamelares distribuídos de modo intersticial entre os contatos dos grãos de quartzo, e preenchendo vênulas (Figura 4.15 B).

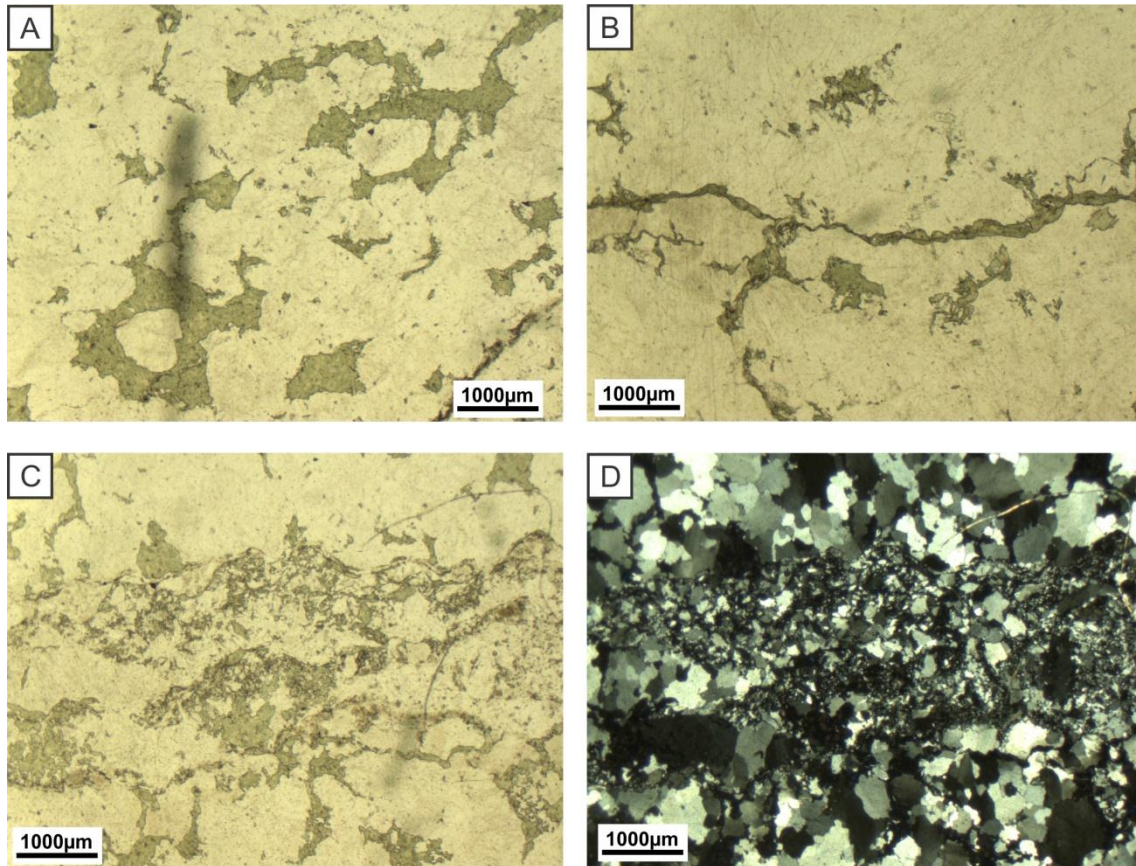
A sericita por sua vez ocorre associada à clorita na forma de finas palhetas, com tamanho menor que 50µm, perfaz cerca de 3%, é incolor, euédrica a subédrica, com cor de interferência de 2ª ordem (Figura 4.14 C e D). Os demais minerais acessórios também encontram-se associados aos agregados de clorita, zircão e opacos correspondendo meramente 1% da rocha.

Figura 4.14 - Aspectos petrográficos da litofácies Acz. (A) e (B) Textura relíquia de arcabouço sedimentar sustentada por grãos essencialmente de quartzo numa trama de forte modificação e recristalização. (C) e (D) Detalhe do arcabouço da rocha sustentado por grãos de quartzo em meio matriz clorítica (Chl) e sericita (Ser). (E) e (F) Detalhe da deformação em grãos de quartzo originando subgrãos. Fotomicrografias em nicóis paralelos (N //) em A, C e E; e nicóis cruzados (N X) em B, D e F.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.15 – Feições petrográficas da litofácies Quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz). (A) Arcabouço sedimentar em meio a uma matriz secundária de clorita. (B) Vênulas preenchidas por clorita. (C) e (D) Cristais anédricos de quartzo, em feições de cominuição com tamanho inferior a 200 μm , no que aparenta ser zonas ou “corredores” de deformação.

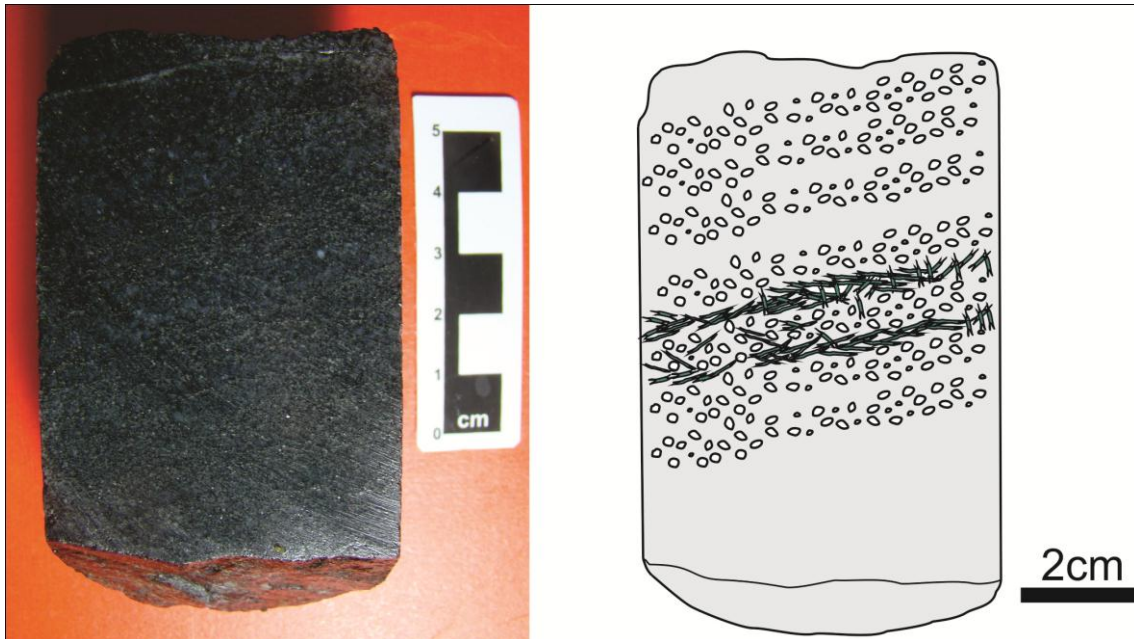


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2.2 Litofácies Aq – Quartzo-arenito com laminação quasi-planar

Fácies caracterizada por quartzo-arenitos médios a grossos, cinza esverdeados (AVL8-FD6-13-790,4m e AVL8-FD6-18-687,8m), com laminação quase-planar, de leitos centimétricos com valor médio de 0,5 cm. Apresenta grãos de quartzo grandemente recristalizados e levemente deformados, boa seleção e esfericidade, com contornos subangulosos a subarredondados. O arcabouço é sustentado por grãos que dispõem lamelas de cloritas em seus interstícios, dando a cor secundária do litotipo da fácies. A laminação quasi-planar para arenitos médios a grossos tem sua gênese ligada a fluxo unidirecional em regime energético inferior, num ambiente subaquoso.

Figura 4.16 - Aspectos texturais macroscópicos da litofácies Aq, denotando desenho esquemático dos leitos centimétricos da laminação quase-planar, para os arenitos intensamente recristalizados, com valor máximo de 0,5 cm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto aos aspectos petrográficos, a litofácies exibe um arranjo textural reliquiar de arcabouço sedimentar constituído por visíveis contornos subangulosos a subarredondados de grãos conjuntamente com agregados intersticiais de minerais secundários (Figura 4.17 A e B). Os grãos observáveis são exclusivamente de quartzo, apresentam-se modificados e amplamente recristalizados. Os agregados intersticiais comportam-se com uma matriz secundária no litotipo da fácies, por sua vez, é constituída pela associação de clorita, sericita, minerais opacos e zircão. Ademais observa-se feições de deformação, tal como, cominuição em cristais de quartzo, no que aparenta ser zonas ou “corredores” de deformação (Figura 4.17 C e D). A composição mineralógica é dada essencialmente por quartzo (79%) e clorita (17%), seguidas pelos secundários sericita (2%), opacos (3%), e zircão como acessório (1%).

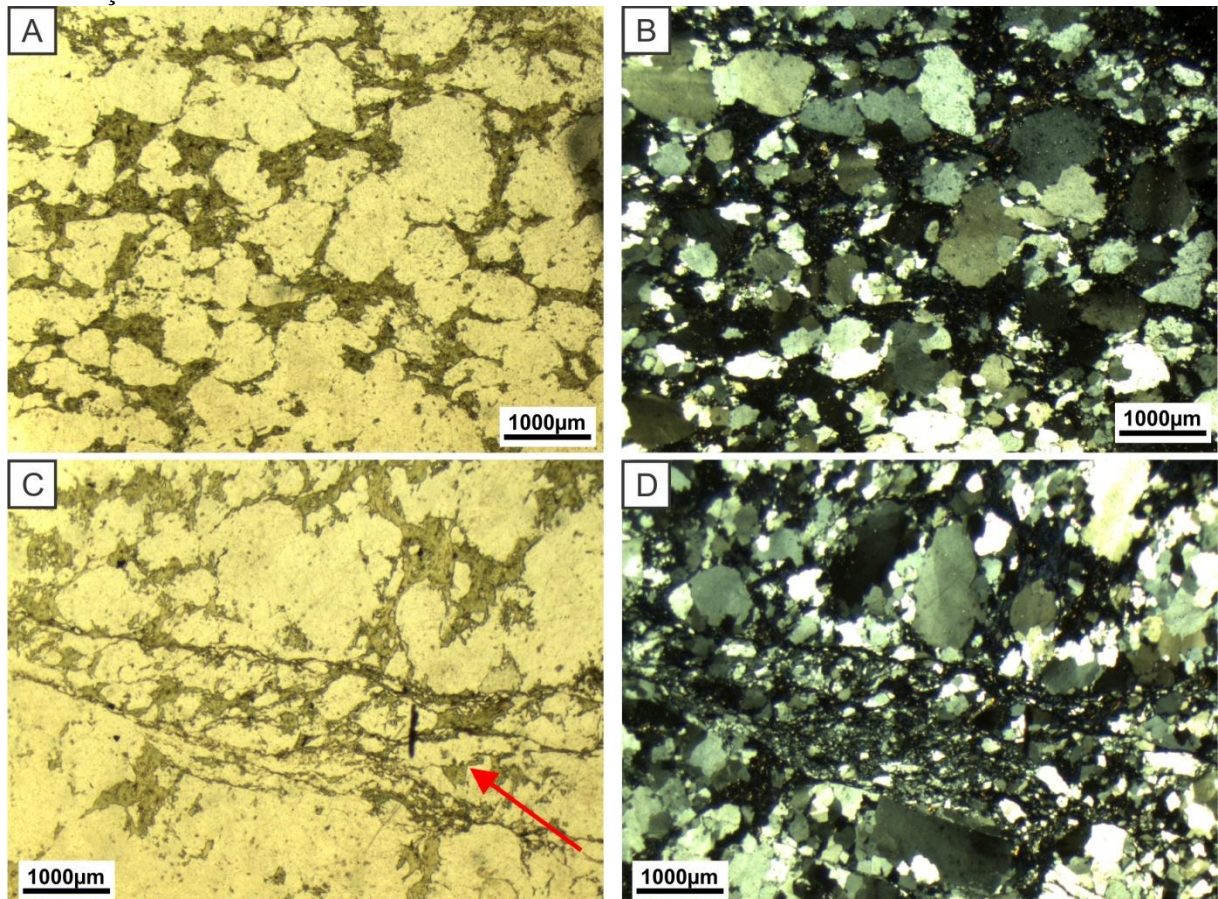
De maneira essencial o quartzo constitui o litotipo, com cerca de 79%, dispondo-se em maioria na forma de grãos e também como cristais anédricos oriundos da deformação. Como grão, são incolores, contornos subangulosos a subarredondados, baixa esfericidade e moderada seleção, atingindo tamanhos variando entre 600 μ m a 900 μ m. A deformação lhes confere uma extinção ondulante forte, além de originar, cristais anédricos de bordas serrilhadas que compõe, conseqüentemente, os subgrãos (Figura 4.18 A e B). Além disso, feições de ampla cominuição acompanhados de recristalização originam finos cristais

anédricos de quartzo, inferiores a 50 μ m, podem sugerir zonas ou corredores de deformação (Figura 4.17 C e D).

O mineral clorita diz respeito a 17% do litotipo da fácies, dispõe-se de maneira intersticial aos grãos de quartzo como aglomerados juntamente com sericita, minerais opacos e zircão (Figura 4.18 C e D). Possui hábito lamelar, tamanho inferior a 100 μ m, coloração verde musgo, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido. É de caráter secundário, sendo oriunda de processos hidrotermais.

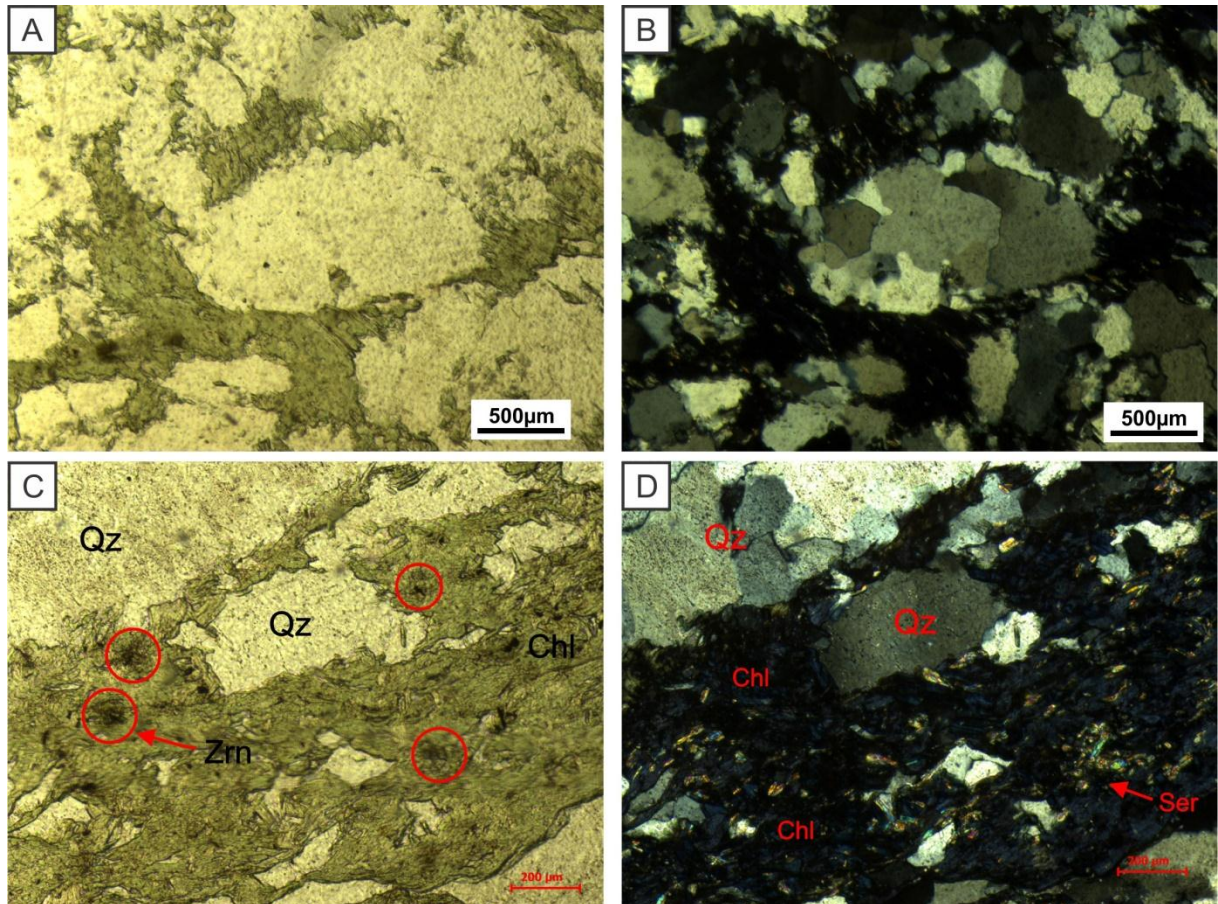
A sericita (2%) encontra-se associada à clorita, na forma de pequenas palhetas incolores, euédricas a subédricas, com cor de interferência de 2^a ordem, de tamanho inferior a 50 μ m. Quanto aos minerais opacos, são de fácil reconhecimento apresentando-se de forma anédrica, coloração negra junto às cloritas. Como acessório, o zircão (1%) também está ligado ao aglomerado de clorita, porém destaca-se nesta trama por desenvolver halos pleocroícos (Figura 4.18 C e D).

Figura 4.17 – Fotomicrografia das principais feições petrográficas da litofácies Aq. (A) e (B) Arranjo textural com visíveis contornos subangulosos a subarredondados de grãos conjuntamente com agregados intersticiais de clorita. (C) e (D) Feições de deformação zonas ou “corredores” de deformação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.18 - Aspectos petrográficos da litofácies Quartzo-arenito com laminação quasi-planar. (A) e (B) Detalhe de aspectos deformacionais e formação de subgrãos de quartzo na rocha. (C) e (D) Destaque para halos pleocroicos de zircão (Zrn) em matriz de clorita (Chl) e sericita (Ser). Nicóis paralelos (N //) em A e C; e nicóis cruzados (N X) em B e D.



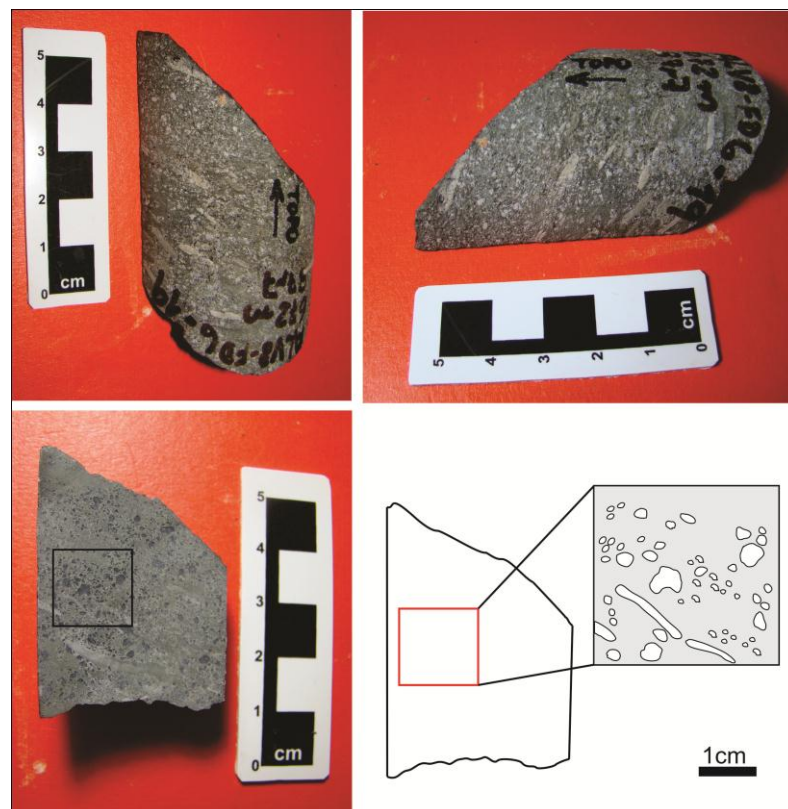
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2.3 Litofácies I1l – Ignimbrito tipo lapili

Fácies representada por ignimbritos do tipo lapili (AVL8-FD6-19-672m) de coloração cinza claro, granulometria lapili, com cristaloclastos variando entre 4-2 mm no maior comprimento. É caracterizada por arcabouço sustentado por grãos de natureza variada, tais como cristaloclastos de quartzo e litoclastos, em meio a “massa” de clorita secundária análoga a uma matriz, contornando-os nessa trama. Exibe uma foliação/laminação discreta evidenciada pela orientação dos clastos ressaltados pela aparente textura de fluxo das cloritas. Ademais, a olho nu, observa-se grãos de quartzo com feições de embaimento (Figura 4.19) e clastos deformados de maneira alongada e achatada.

Os depósitos de ignimbritos tem sua gênese relacionada a fluxo laminares, quentes e densos, fruto de fluxo piroclásticos em erupções explosivas por meio de fluidificação de gás, sendo estes depósitos vulcanoclásticos aqui evidenciados pelo aspecto fracamente laminar e seu arcabouço de clastos peculiares.

Figura 4.19 - Amostra representativa da litofácies I1l. Denota-se a foliação de fluxo evidenciada por cristais de *pumice* e litoclastos em meio a uma matriz cloritica. Observa-se cristais de quartzo com embaimento a olho nu.



Fonte: Elaborado pelo autor.

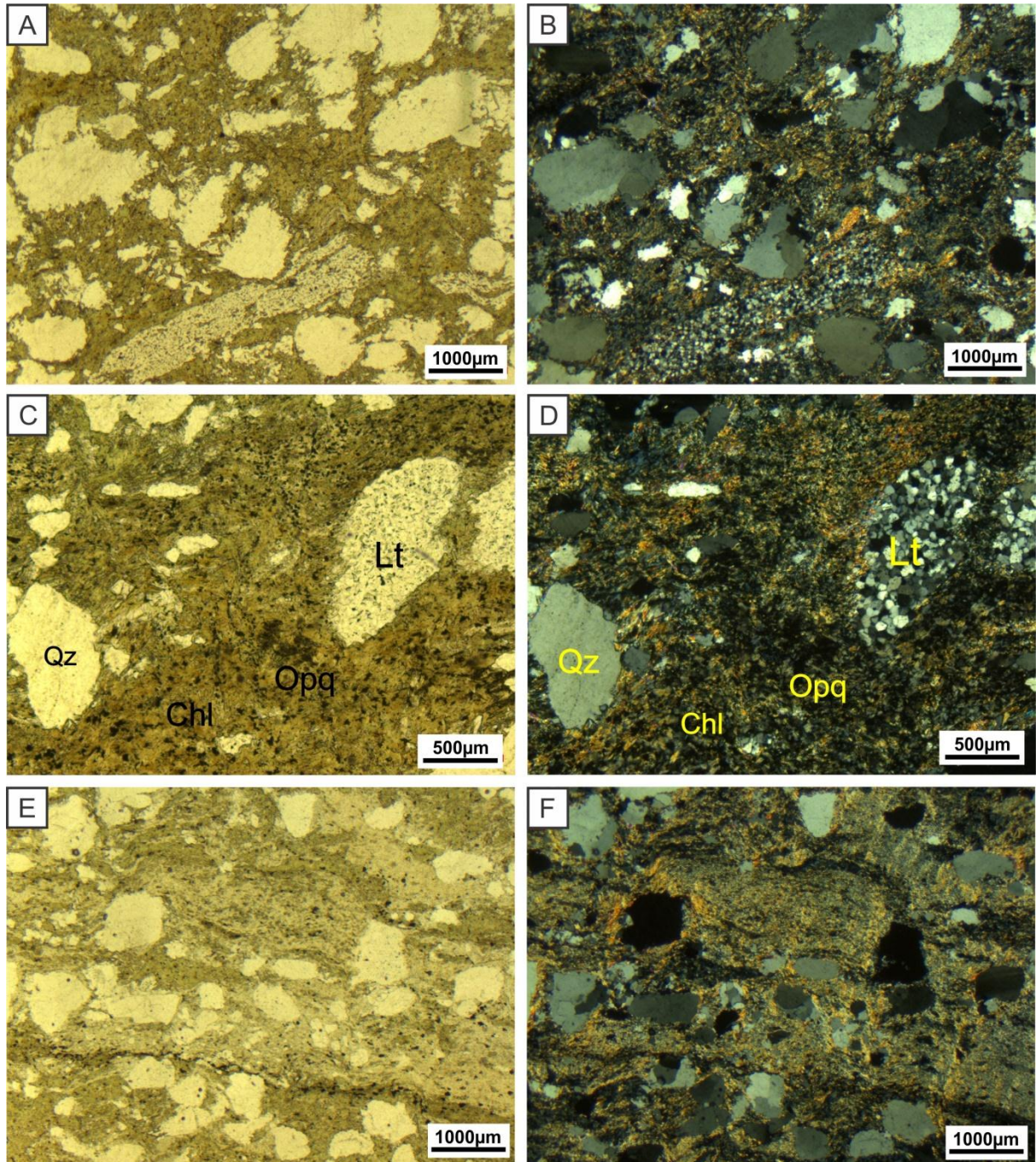
Os aspectos petrográficos exibem uma microtextura de aspecto fluidal caracterizada pela orientação de minerais que constituem a matriz juntamente com os litocláastos e cristaloclastos de quartzo (Figura 4.20 A e B). A matriz corresponde a uma associação mineral de caráter secundário, provável proveniência da ação hidrotermal, constituída basicamente por clorita, opacos e mica branca (Figura 4.20 C e D). Além do mais, são observadas feições de litoclastos e clastos moderadamente soldados, sugerindo uma textura reoetaxítica (Figura 4.20 E e F) e possíveis estruturas de *pumice* ou *fiammes*, preenchidas por mica branca e quartzo, mascaradas pelo hidrotermalismo atuante (Figura 4.21 A e B). A composição é dada essencialmente por cristaloclastos de quartzo (42%), clorita (27%), litocláastos (18%), mica branca (10%), minerais opacos (2%) e zircão (<1%).

Os cristaloclastos são essencialmente de quartzo, cerca de 42%, de tamanho médio superior a 2mm (2000 μ m), subangulosos a subarredondados, com contornos serrilhados, média esfericidade, extinção ondulante e pouco fraturamento. Apresenta discretas feições de embaçamento (Figura 4.21 C e D) evidenciando possível origem vulcânica.

Correspondem aos litocláastos de quartzo cerca de 18%, com contatos poligonais, no entanto há também associação destes grãos com aglomerados de quartzo-clorita-sericita, oriundos prováveis da interação metassomática com os fluidos hidrotermais. (Figura 4.20 C e D). Alcançam em média 2,2mm (2200 μ m) de tamanho em seu maior comprimento.

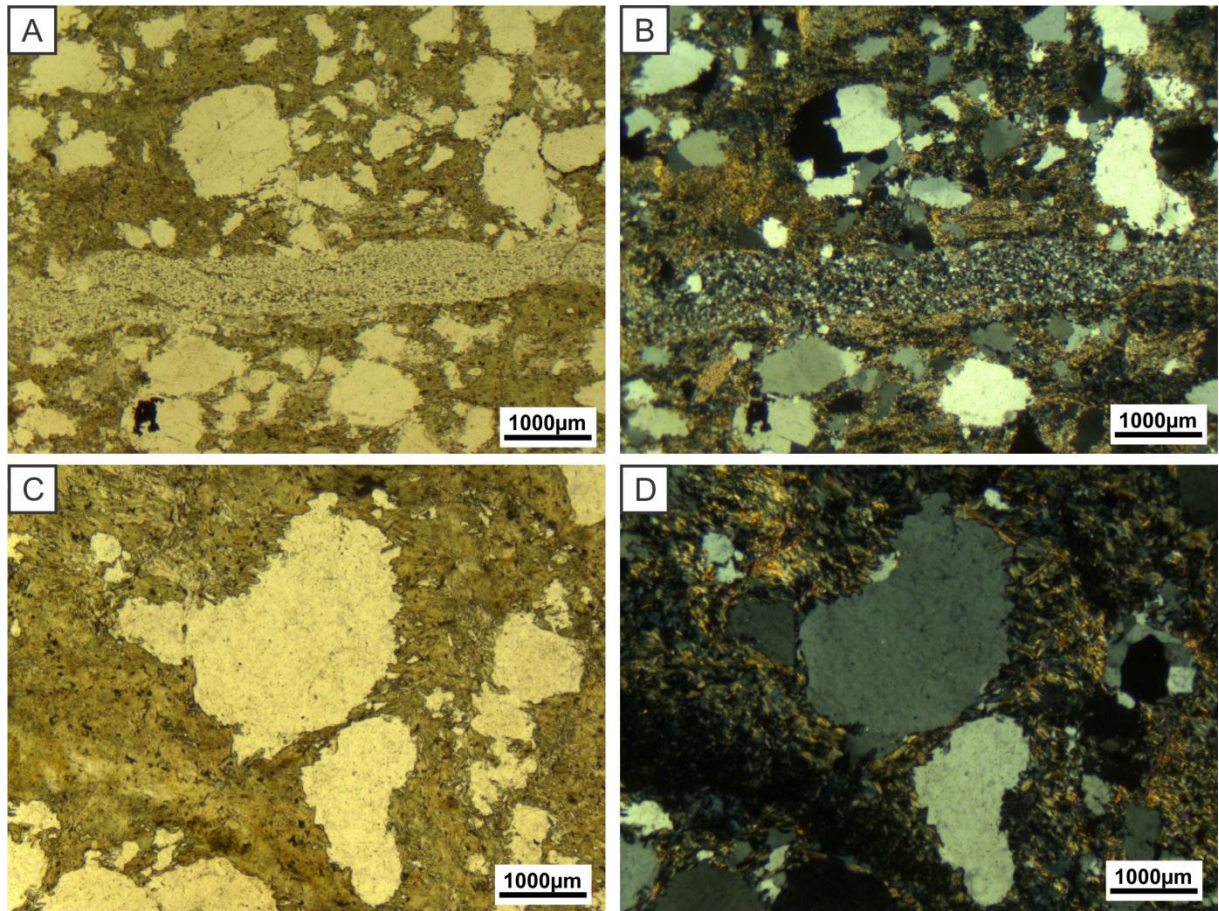
A clorita perfaz cerca de 27% do litotipo, comporta-se conforme uma matriz envolvendo os clastos e ressaltando a textura fluidal. Apresenta-se em maioria como lamelas finas tendo micas brancas, opacos e zircão agregados. Possui caráter secundário, sendo oriunda de processos hidrotermais. Com tamanho de ordem inferior a 50 μ m, as lamelas são coloração verde musgo, cor de interferência anômala (azul), pleocroísmo fraco, variando de verde claro a amarelo pálido.

Figura 4.20 - Fotomicrografia dos aspectos petrográficos da litofácies Ignimbrito tipo lapili. (A) e (B) Aspecto microtextural fluidal caracterizada pela orientação de minerais que constituem a matriz juntamente com os litocláston e cristaloclastos de quartzo. (C) e (D) Associação mineral correspondente a matriz juntamente com cristaloclastos de quartzo (Qz) e litocláston (Lt). (E) e (F) litocláston e clastos moderadamente soldados, sugerindo uma textura reoexitáfrica. Fotomicrografias (A), (C) e (E) nicóis paralelos (N //). Já (B), (D) e (F) com nicóis cruzados (N X).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.21 –Aspectos petrográficos relevantes da litofácies Itl. (A) e (B) Destaque para os possíveis elementos de *pumices* em meio a matriz clorítica. (C) e (D) Discretas feições de embaiamento em cristais de quartzo, sugerindo origem vulcânica para este constituinte.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS LITOFÁCIES

As litofácies atribuídas à unidade Grupo Igarapé Bahia possuem majoritário caráter vulcanoclástico, e são caracterizadas por ignimbritos tipo cristal tufo (Ict) e foliados (If) . Estas apresentam marcante aspecto fluidal ressaltado pela orientação de fenocristais e cristaloclastos em meio uma matriz de clorita autigênica e agregados minerais tais como opacos, titanita, sericita, biotita e zircão, desenham uma trama plástica similar à fluxo laminar. Estruturas observadas em clastos de quartzo modificados, de geometria lenticular, achatados e alongados assemelham-se a *fiammes* típicos de depósitos piroclásticos, no entanto, em nenhum momento fora observado vidro vulcânico, haja vista que tal evidência tenha sido mascarada pela ação hidrotermal ou pelo processo de desvitrificação, que tem clorita como produto. Ainda, notou-se de maneira discreta feições de engolfamento ou embaiamento em alguns grãos, análogo a quartzo vulcânico, sustentando a influência vulcânica. A gênese destas rochas está ligada a depósitos vulcanoclásticos de fluxo, em ambiente subaéreo, por meio de fluxo piroclástico de cristais e clastos em meio a fluidificação de gases de erupções explosivas, aqui evidenciadas. A litofácies Am, pertencente a esta sequência, corresponde a quartzo-arenitos grossos esverdeados, maciços, com grãos amplamente recristalizados sustentando o arcabouço da rocha, acompanhado de intensa cloritização intersticial semelhante a cimento, é cortada por vênulas preenchidas por quartzo e clorita. Na unidade Igarapé Bahia tais litofácies podem ser atribuídas aos depósitos de turbiditos distais interpretados por Dreher (2004).

Ambas as litofácies do Grupo Igarapé Bahia foram afetadas por processos de cloritização e carbonatação em evento hidrotermal descrito Zang e Fyfe (1995). A cloritização foi o processo mais comum, ocasionando a coloração esverdeada as rochas, produzido pela autigênese de lamelas de clorita muito finas. Nos ignimbritos resalta-se o aspecto fluidal, contornando cristaloclastos, e nos arenitos ocorrem de forma intersticial análogo a cimento. A carbonatação é evidenciada no preenchimento de vênulas principalmente, onde conforme Almada e Villas (1999) corresponde à precipitação de siderita (FeCO_3) mais comumente.

A Formação Águas Claras é caracterizada por depósitos siliciclásticos influenciados por vulcanismo representado por quartzo-arenitos laminados (Acz e Aq) e ignimbritos tipo lapili (Itl) respectivamente. As litofácies Acz e Aq são genericamente representadas por arenitos médios a grossos, cinza esverdeados, contendo laminação cruzada e quasi-planar. Apresenta grãos de quartzo grandemente recristalizados e deformados, boa seleção e esfericidade, com contornos subangulosos a subarredondados. Acompanha esta trama a

presença de aglomerados de clorita, sericita, opacos e zircão, de forma intersticial aos grãos. Os sets das laminações, tanto cruzada quanto quasi-planar, variam entre 0,5 a 1,0 cm de espessura. Há um predomínio da litofácies Acz, que se espessa para o topo da sucessão. Tais características faciológicas sugerem que a gênese desses depósitos siliciclásticos está ligado a um ambiente fluvial entrelaçado raso, condizente com as condições de sedimentação pré-cambriana. Ademais nesta porção correspondente à Formação Águas Claras observou-se influencia de vulcanismo representada pela litofácies Itl, particularizada pela presença de litoclastos e cristaloclastos moderadamente soldados, sugerindo uma textura reooutaxítica, juntamente com possíveis estruturas de *pumice* ou *fiammes*, preenchidas por mica branca e quartzo. Novamente nas *pumices* não fora observado vidro vulcânico, e a estrutura porosa característica, provavelmente fora preenchida pela autigênese de clorita, durante um evento hidrotérmico logo após a cristalização das rochas gabríticas proposto por Barros et al. (1994a). A evidente alteração hidrotermal observada, principalmente pelo processo de cloritização e sericitização, é similar aos dados descritos por Silva e Villas (1998).

4.6 INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

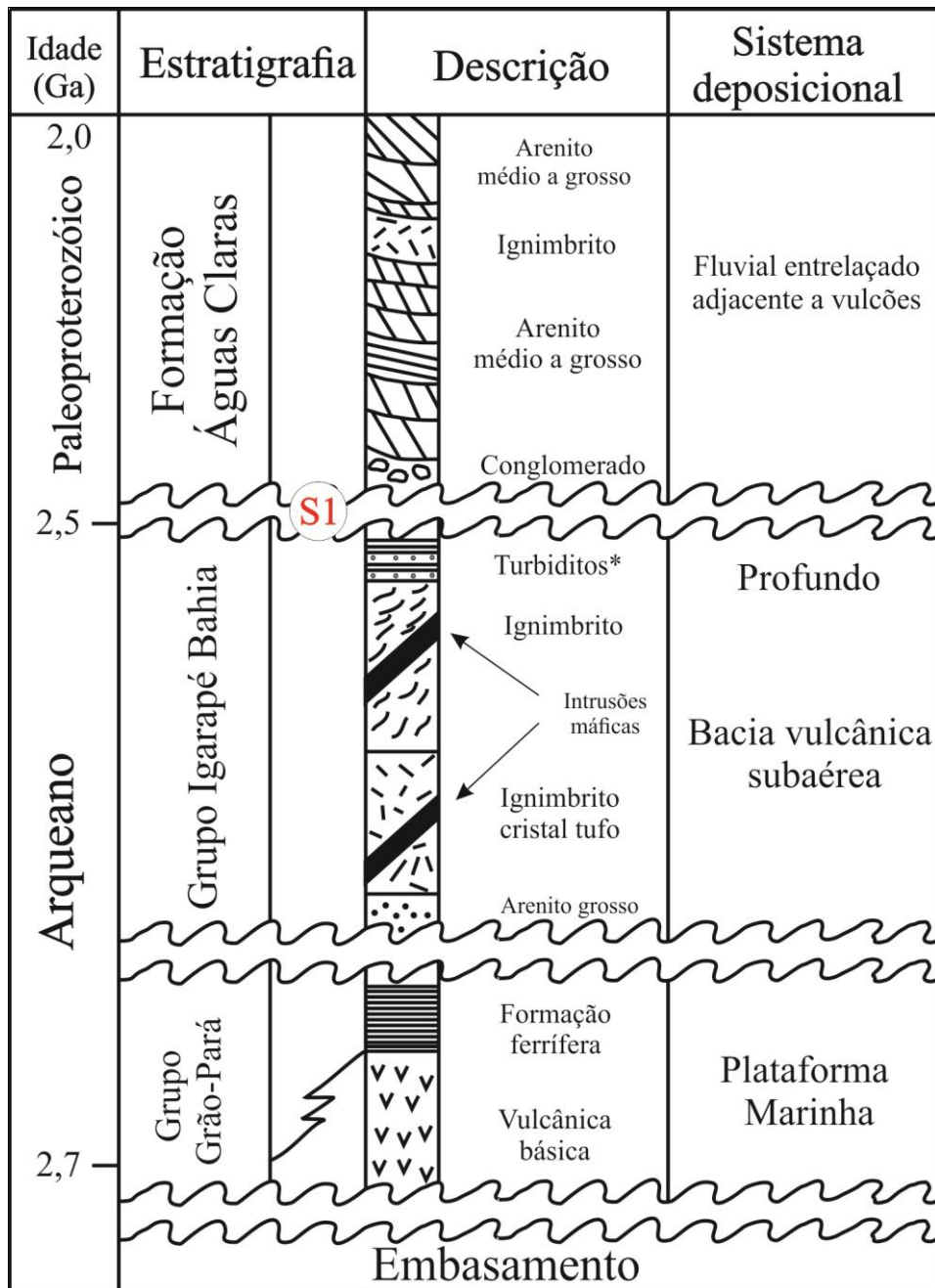
Os depósitos que compõe a sucessão vulcanoclástica-siliciclástica do noroeste da Serra dos Carajás foram aqui interpretados calcados na geologia de testemunho e aspectos faciológicos do testemunho de sondagem AVL8-FD6. Com base nas litofácies observadas, propõe-se nessa monografia um modelo preliminar da evolução deposicional do Grupo Igarapé Bahia e Formação Águas Claras, visando uma reconstrução da história ambiental dessas unidades, de cunho limitado, haja vista a análise da porção basal de apenas um testemunho na área. O modelo proposto por Dreher (2004) para o Grupo Igarapé Bahia é muito sintético e pouco analítico, se comparado com as complexidades dos litotipos observados no referido grupo. As litofácies vulcanoclásticas descritas para a unidade basal do Grupo Igarapé Bahia sugerem uma ambiência ligada a eventos magmáticos subaéreo. A passagem brusca dos ritmitos interpretados como turbiditos distais de bacia de águas profundas, conforme Dreher (2004), em contato direto com clásticos continentais da Formação Águas Claras, caracteriza sem dúvida uma discordância (S1), haja vista que as rochas de ambiente subaquosos (Grupo Igarapé Bahia) estão em contato direto com depósitos continentais fluviais entrelaçados.

A proposta evolucionar tem seu início ligado a uma bacia vulcânica arqueana de caráter subaéreo alimentada por magmatismo mantélico recorrente, num provável contexto de arco de ilha ou *rift* (?). Episódicos eventos de vulcanismo subaéreo com influxo piroclástico em meio a nuvem de fluidos e gases propiciam a deposição dos ignimbritos e tufos registrados nas litofácies Ict e If (Figura 4.23 A). Contemporâneo a isso, na porção distal da bacia, depósitos clásticos são originados, sendo no contexto da sucessão representados pelos arenitos basais (Am) relacionados aos turbiditos areníticos e ritmitos de ambiência profunda (cf. DREHER, 2004). Em momento seguinte de transgressão marinha e consequente aumento no nível do mar (NM2), transformam o sistema em ambiente vulcânico subaquoso (Figura 4.23 B) representados por derrames máficos e hialoclastitos lateralmente disposto ao ambiente deposicional subaquoso profundo retratado pelos turbiditos, conforme o modelo de Dreher (2004) para a bacia do Igarapé Bahia. Um posterior momento de soerguimento (Figura 4.23 C) provoca exposição dessas rochas, sujeitas à ação intempérica, são grandemente erodidas denotando a origem da discordância erosiva (S1), que levou alguns milhões de anos para se formar, explica a passagem brusca da unidade Grupo Igarapé Bahia para Formação Águas Clara, um contato direto de ambiente vulcânico subaéreo com fluvial (Figura 4.22).

Por fim, já no paleoproterozóico, um momento de subsidência propicia implementação de bacia eminentemente continental, porém perturbada por eventos magmáticos na sua fase inicial (Figura 4.23 D), denotada pela presença de ignimbritos tipo lapili (Itl) em meio aos depósitos siliciclásticos (Acz e Aq). Esta bacia, aqui denominada de bacia do Águas Claras, possui caráter majoritário siliciclástico evidenciado pelas litofácies observadas na porção basal do testemunho contendo laminações cruzada (Acz) e quasi-planar (Aq). Foram interpretadas como de ambiente fluvial entrelaçado raso, não obstante da interpretação vigente de sistema fluvial de Nogueira et al. (1995).

O modelamento aqui proposto é ainda preliminar, numa tentativa de resgatar dados estratigráficos mais sólidos para região noroeste da Serra dos Carajás (Figura 4.22), fornecendo novas informações para o entendimento dessa sucessão e dos depósitos pré-cambrianos da Bacia dos Carajás. Além de ser um tema motivador, a possibilidade de desvendar com detalhes essa história por meio da análise de mais testemunhos, seria uma oportunidade ímpar para alavancar o conhecimento da história sedimentar, compondo um arcabouço estratigráfico mais preciso para essa que é uma das maiores províncias minerais do mundo.

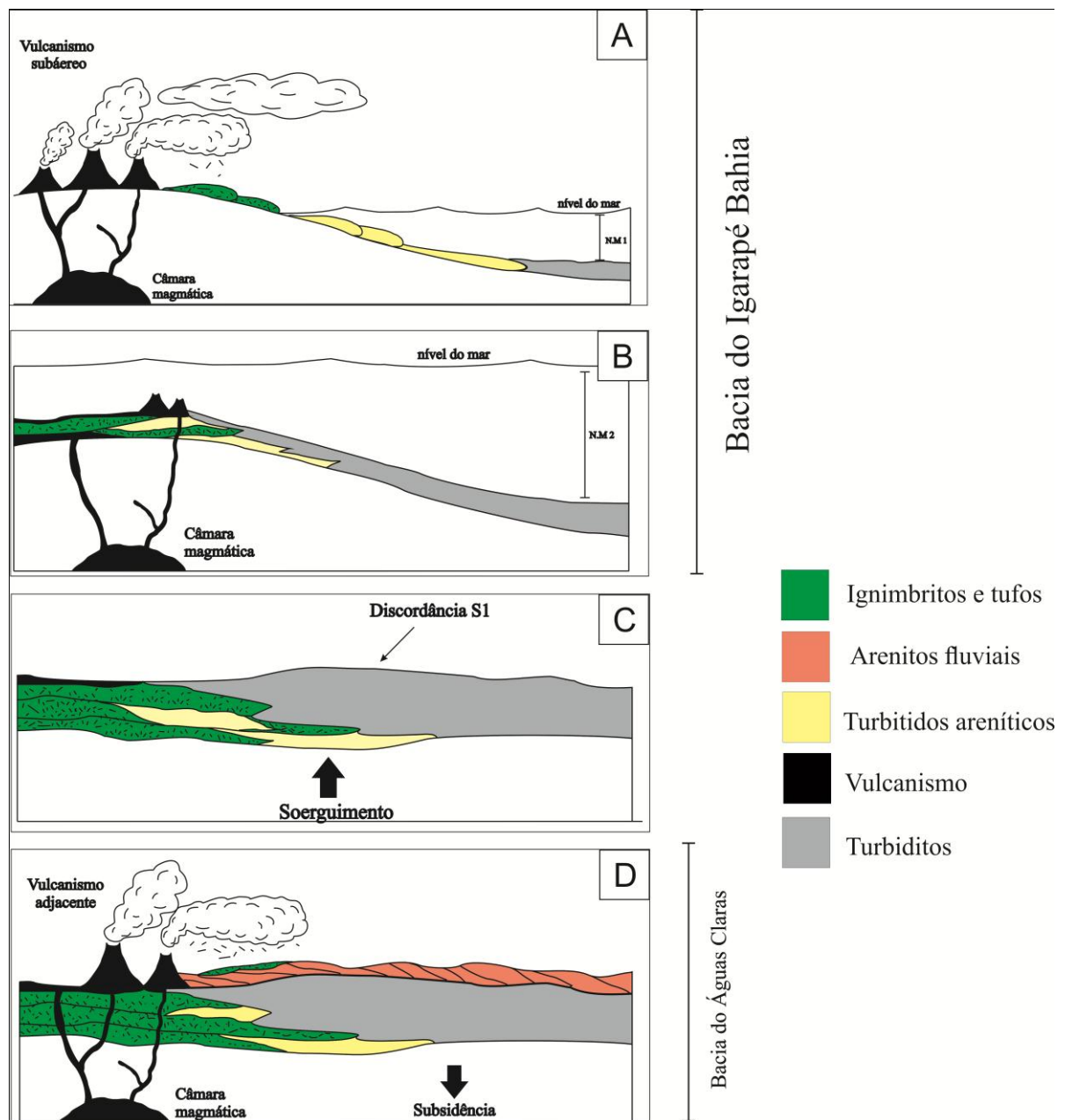
Figura 4.22 – Quadro litoestratigráfico simplificado para sucessão vulcanoclástica-siliciclástica do noroeste da Serra dos Carajás com base no testemunho AVL8-FD6.



*Inferidos a partir do trabalho de Dreher (2004)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.23 – Seções esquemáticas propostas para história evolução deposicional da sucessão vulcanoclástica-siliciclástica do noroeste da Serra dos Carajás, ilustrando os principais sistemas e ambientes deposicionais, com base no testemunho de sondagem AVL8-FD6. (A) Deposição do Grupo Igarapé Bahia entre 2,7 e 2,5 Ga, em uma bacia tectonicamente instável inicialmente perturbada por eventos de vulcanismo subaéreo e em águas profundas, assolada por eventos de turbidez com preservação depósitos turbidíticos na sua parte mais distal. (B) Após posterior evento transgressivo e consequente aumento no nível do mar (NM2) houve o predomínio do ambiente subaquoso e sedimentação dos depósitos de turbiditos. (C) Soerguimento e exposição dos pacotes e consequente formação da superfície erosiva S1. (D) No paleoproterozóico, um momento de subsidência propicia implementação de bacia eminentemente continental e progradação de sistemas fluviais entrelaçados porém perturbada por eventos magmáticos na sua fase inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

O resultado dos dados obtidos através da análise faciológica e petrográfica calcado na descrição de testemunho de sondagem AVL8-FD6 oriundo do noroeste da Serra dos Carajás permitiram as seguintes conclusões:

- Caracterização de uma sucessão vulcanoclástica-siliciclástica para região noroeste da Serra dos Carajás representada por depósitos vulcanoclástica com eventuais níveis de rochas siliciclásticas associadas; em contato discordante erosivo (S1) com rochas predominantemente siliciclásticas associadas a rochas vulcanoclásticas discretas.
- O estudo petrográfico da sucessão permitiu a distinção de seis litofácies: quartzo-arenito cloritizado (Am), ignimbrito tipo cristal tufo (Ict), ignimbrito foliado (If), ignimbrito tipo lapili (Itl), quartzo-arenito com laminação cruzada (Acz) e quartzo-arenito com laminação quasi-planar (Aq).
- Subdivisão da sucessão nas unidades Grupo Igarapé Bahia e Formação Águas Claras conforme as litofácies observadas.
- As rochas intrusivas correspondem a corpos gabróicos relacionados a intrusões de diques máficos posteriores, que truncam tanto a unidade Grupo Igarapé Bahia quanto a Formação Águas Claras.
- A sucessão é toda afetada por alteração hidrotermal que acompanha processos de cloritização, carbonatação e seritização.
- A cloritização foi o processo mais comum, ocasionando a coloração esverdeada às rochas, que produziu autigênese de lamelas de clorita com granulação muito fina
- O hidrotermalismo foi responsável pela ampla modificação nas litofácies por vezes mascarando as estruturas primárias principalmente nos ignimbritos e tufos, favorecendo a autigênese de clorita e desvitrificação das *pumices*.
- A análise do conjunto dos dados permitiu a interpretação das as litofácies da porção basal do testemunho AVL-FD6 atribuídas ao Grupo Igarapé Bahia foram depositadas em Bacia vulcânica subáerea; e as litofácies referidas à Formação Águas Claras se deram em bacia continental no ambiente fluvial entrelaçados perturbada por eventos magmáticos na sua fase inicial.

REFERÊNCIAS

- ALMADA, M.C.O.; VILLAS, R.N.N. O depósito Bahia: um possível exemplo de depósito de sulfeto vulcanogênico tipo Besshi arqueano em Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 4, p. 579-572, 1999.
- ALMEIDA, F.F.M. et al. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Review**, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.
- ALTHOFF, F.J.; BARBEY, P.; BOULLIER, A.M. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás Mineral Province, Brazil). **Precambrian Research**, v. 104, p. 187-206, 2000.
- AMARAL, G. **Geologia Pré-cambriana da Região Amazônica**. 1974. 212 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.
- ANAISSE JÚNIOR, J. **Petrografia dos arenitos da Formação Águas Claras, Arqueano, Serra dos Carajás**. 1997. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1997.
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. **Serra dos Carajás**: folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Texto explicativo. Brasília: DNPM/CPRM, 1991. 164 p. il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X.S. Trabalhos anteriores e contexto geológico regional. In: ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N. (Org.). **Serra dos Carajás**: folha SB.22-Z-A. Estado do Pará. Escala 1:250.000. Textos explicativos. Brasília: DNPM/CPRM, 1991. p. 17-50. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).
- ARAÚJO, O.J.B. et al. A megaestruturação arqueana da Folha Serra dos Carajás. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 7., 1988, Belem. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 1, p. 324-338.
- BARBOSA, O. et al. **Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do Projeto Araguaia**. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 1966. 94 p. (Monografia, 19).
- BARROS, C.E.M. **Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et de son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Métallifère de Carajás, Brésil)**. Nancy, 1997. 316 f. Tese (Doutorado) - Université Henri Poincaré, Nancy, 1997.
- BARROS, C.E.M.; DALL'AGNOL, R.; SOARES, A.D.V.; DIAS, G.S. Metagabros de Águas Claras, Serra dos Carajás: petrografia, geoquímica e transformações metamórfico-hidrotermais. **Acta Geol. Leopoldensia**, n. 40, p. 31-70, 1994a.
- BARROS, C.E.M. et al. Granito Serra dos Carajás: uma discussão sobre o seu potencial metalogenético para estanho com base em estudos na borda oeste do corpo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: SBG, 1994b. p. 307-309.

BEISIEGEL, V.R. et al. Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, n. 4, p. 215-242, 1973.

BRITO NEVES, B.B.; CORDANI, U.G. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. **Precambrian Research**, v. 53, p. 23-40, 1991

CORDANI, U.G.; TASSINARI, C.C.G.; KAWASHITA, K. A.. Serra dos Carajás como região limítrofe entre províncias tectônicas. **Ciências da Terra**, v. 9, p. 6-11, 1984.

CORDANI, U.G. et al. Evolução tectônica da Amazônia com base nos dados geocronológicos. In: CONGRESSO GEOLÓGICO CHILENO, 2., 1979, Arica, Chile. **Actas...** Arica, Chile: 1979. v. 4, p. 137-148.

COSTA, J.B.S. et al. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, v. 7, p. 199-235, 1995. (Série Ciências da Terra, 7).

CUNHA, B.C.C.; SANTOS, D.B.; PRADO, P. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús, com ênfase no Grupo Rio Fresco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 2, p. 873-885.

DALL'AGNOL, R. et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. **Lithos**, v. 80, p. 101-129, 2005.

DALL'AGNOL, R. et al. The Precambrian evolution of the amazonian craton: one of the last unknown Precambrian terranes in the world. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Abstracts...** Rio de Janeiro: SBG, 2000. 1 CD-ROM.

DARDENNE M.A., FERREIRA FILHO C.F., MEIRELLES M.R. 1988. The role of shoshonitic and calcalkaline suites in the tectonic evolution of the Carajás District, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 1, p. 363-372.

DE ROS, L. F. . Diagênese de arenitos - progressos e dúvidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2. p. 917-930.

DE ROS, L. F.; CÉSERO, P. Argila em arenitos - bases para a interpretação petrogenética. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1986, Goiânia. **Anais...** Belém: SBG, 1986. v. 4. p. 1663-1670.

DIAS, G.S. et al. Datação de zircões de sill de metagabro: comprovação da idade arqueana da Formação Águas Claras, Carajás-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: SBG, 1996. p. 376-379.

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anexo aos anais...** Belém: CVRD/SBG, 1988. p. 11-59.

DREHER, A.M. **O depósito primário de Cu-Au de Igarapé Bahia, Carajás: rochas fragmentárias, fluidos mineralizantes e modelo metalogenético.** 2004. 221 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, 2004.

DREHER, A. M.; XAVIER, R. P. Provável origem e processo de mineralização das brechas do depósito Igarapé Bahia, Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 1998, Belém. **Resumos expandidos.** Belém: SBG, 1998. CD-ROM.

DREHER, A.M.; XAVIER, R.P.; MARTINI, S.L. Fragmental rocks of the Igarapé Bahia Cu-Au deposit, Carajás Mineral Province, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 35, n. 3, p. 359–368, 2005

DREHER, A.M. et al. New geologic, fluid inclusion and stable isotope studies on the controversial Igarapé Bahia Cu-Au deposit, Carajás Province, Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 43, n.2, p. 161-184, 2008.

FABRE, S.; NÉDÉLEC, A.; POITRASSON, F.; STRAUSS, H.; THOMAZO, C.; NOGUEIRA, A. Iron and sulphur isotopes from the Carajás mining province (Pará, Brazil): Implications for the oxidation of the ocean and the atmosphere across the Archaean Proterozoic transition. **Chemical Geology**, v. 289, p. 124-139, 2011.

FERREIRA FILHO, C. **Geologia e mineralizações sulfetadas do Prospecto Bahia, Província Mineral de Carajás.** 1985. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 1985. 112p.

FERREIRA FILHO, C.F.; DANNI, J.C.M. Petrologia e mineralizações sulfetadas do prospecto Bahia, Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 2., 1985, Belém. **Anais...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 1985. v. 3, p. 34-47.

FIGUEIRAS, A. J. M.; MACAMBIRA, J.B.; VILLAS, R. N. N. 1987. Contribuição ao estudo paleoambiental da Formação Rio Fresco na região de Carajás. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS DEPOSICIONAIS NO PRÉ-CAMBRIANO, 1., Ouro Preto, 1987. **Anais...** Ouro Preto, SBG, 1987. p. 17-31.

FIGUEIRAS, A. J. M.; VILLAS, R. N. N. Estudo petrológico e sedimentológico da sequência clástica (pós-Grupo Grão Pará) da Serra dos Carajás, estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG, 1984. v.2, p. 832-846.

FISHER, R. V. Mechanism of deposition from pyroclastic flows. **American Journal of Science**, n. 264, p. 350 – 363, 1966.

GALARZA, M.A.T. **Geocronologia e geoquímica isotópica dos depósitos de Cu-Au Igarapé Bahia e Gameleira, Província Mineral de Carajás, Brasil.** 2002. 214 f. Tese (Doutorado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

GALARZA M.A.T.; MACAMBIRA M.J.B. Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Igarape Bahia, Província Mineral de Carajás, Para, Brasil. In: KLEIN E.L., VASQUEZ M.L., ROSA-COSTA L.T. (ed.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. Belem: SBG, 2002a. p. 153-168.

GALARZA, M.A.; MACAMBIRA, M.J.B. Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (ed.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2002b. v. 3, p. 153-168.

GALARZA, M.A.; MACAMBIRA, M.J.B.; MOURA, C.A.V. Geocronologia Pb-Pb e Sm-Nd das rochas máficas do Depósito Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás (PA). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8., 2003, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG –Núcleo Norte, 2003. 1 CD-ROM.

GIBBS, A.K. et al. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 2, p. 201-211, 1986.

GILL. Robin. **Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide**. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 2010. 472p.

GROVES D.I.; VIELREICHER N.M. The Phalaborwa (Palabora) carbonatite-hosted magnetitecopper sulfide deposit, South Africa: an end-member of the iron-oxide copper-gold-rare Earth element deposit group? **Mineralium Deposita**, n. 36, p. 189-194, 2001.

HIRATA, W.K. et al. Geologia regional da Província Mineral de Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1982. v. 1, p. 100-110.

HOLLAND H. D. Paleosols and the evolution of atmospheric oxygen: a critical review. **American Journal of Science Journal Article, Review, Research Support, Non-U.S. Gov't, Research Support, U.S.** 1994.

JORGE JOÃO, X.S.; NEVES, A.P.; LEAL, J.W.L. Ouro da Serra Pelada: aspectos da geologia e garimpagem. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., 1982, Belém. **Anais...** Belém: SBG–Núcleo Norte, 1982. v. 2, p. 52-62.

KNUP, P. E.. Reconhecimento geológico na região dos rios Itacaiúnas e Tocantins, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Resumos das comunicações**. São Paulo, SBG. Núcleo de São Paulo, 1971. p. 61-62

LIANDRAT, E. Tentativa de correlação de algumas formações geológicas pré-cambrianas da Amazônia Brasileira com formações similares das Guianas. **Min. Met.**, v. 38, n. 355, p. 30-36, 1974.

LINDERMAYER, Z. G.; FYFE W. S. Comparação preliminar entre os metabasaltos dos Grupos Parauapebas e Salobo da Bacia de Carajás, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Boletim dos resumos expandidos**, v.2, São Paulo: SBG, 1992. p.33-34.

LINDENMAYER, Z.G.; PIMENTEL, M.M.; RONCHI, L.H.; ALTHOFF, F.J.; LAUX, J.H.; ARAÚJO, J.C.; FLECK, A.; BAECKER, C.A.; CARVALHO, D.B.; NOWATSKI, A.C. Geologia do depósito de Cu-Au de Gameleira, Serra dos Carajás, Pará. In: JOST, H.; BROD, J.A.; QUEIROZ; E.T. (Ed.). **Caracterização de depósitos auríferos em distritos mineiros brasileiros**. Brasília, DF: DNPM/ADIMB, 2001. p.81-139.

LINDHOLM, R. C. **A practical approach to sedimentology**. London: Allen & Unwin, 1987. 276 p.

MACAMBIRA, M.J.B.; LAFON, J.M. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 7, p. 263–288, 1995. (Série Ciências da Terra).

MACAMBIRA, M.J.B.; PINHEIRO, R.V.L.; ARMSTRONG, R.A. A fronteira Arqueano Paleoproterozóico no SE do Cráton Amazônico; abrupta no tempo, suave na tectônica? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 10., 2007, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: SBG Núcleo Norte, 2007. p. 105-108. 1 CD-ROM.

MACAMBIRA, M.J.B. et al. New isotope evidences confirming the existence of a Paleoproterozoic terrain in the region at north of the Carajás Mineral Province. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 4., 2003, Salvador. **Short papers...** Salvador, 2003. p. 205-208.

MACAMBIRA, M.J.B. et al. Investigação do limite Arqueano-Paleoproterozóico ao norte da Província de Carajás, Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá. **Resumos...** Araxá: SBG, 2004. 1 CD-ROM.

MACHADO, N.; LINDENMAYER, Z.G.; KROGH, T.E. U-Pb Geochronology of archaean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon Shield, Brazil. **Precambrian Research**, v. 49, p. 329-354, 1991.

MCPHIE, J.; DOYLE, M.; ALLEN, R. **Volcanic Textures**: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart: Univ. Tasmania, 1993. 191 p.

MEIRELES, E.M. et al. Geologia das folhas Carajás e Rio Verde, Província Mineral dos Carajás, estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 5, p. 2164-2174.

MEIRELLES, M.R.; DARDENNE, M.A. Vulcanismo basáltico de afinidade shoshonítica e ambiente de arco arqueano, Grupo Grão-Pará, Serra dos Carajás, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 1, p. 41-50, 1991.

MONTEIRO, P.C. **Investigação do limite entre domínios geocronológicos da região do médio rio Xingu, sudeste do Cráton Amazônico**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

MOUGEOT, R.; RESPAUT, J.P.; BRIQUEU, L.; LEDRU, P.; MILESI, J.P.; LEROUGE, C.; HUHN, S.B.; MACAMBIRA, M.J. Isotope geochemistry constraints for Cu, Au mineralizations and evolution of the Carajás Province (Pará, Brazil). In: CONG. BRAS. GEOL., 39., 1996, Salvador. **Extended abstracts...** Salvador: SBG, 1996b. v. 7, p. 321-324

MOUGEOT, R.; RESPAUT, J.P.; BRIQUEU, L.; LEDRU, P.; MILESI, J.P.; MACAMBIRA, M.J.; HUHN, S.B. Geochronological constraints for the age of the Águas Claras Formation (Carajás Province, Pará, Brazil). In: CONG. BRAS. GEOL., 39., 1996, Salvador. **Extended abstracts...** Salvador: SBG, 1996a. v. 6, p. 579-581.

NOGUEIRA, A. C. R.; **Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, região central da Serra dos Carajás-PA**. 1995. 167 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

NOGUEIRA, A. F. C.; TRUCKENBRODT, W. Evidências de maré e tempestades na Formação Águas Claras, Pré-Cambriano, Serra dos Carajás. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 40, n. XVIII, p. 7-30, 1994.

NOGUEIRA, A. C. R.; TRUCKENBRODT, W.; COSTA, J. B. S.; PINHEIRO, R.V.L. Análise faciológica e estrutural da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Boletim de resumos expandidos**. Belém: SBG, 1994. p. 363-364.

NOGUEIRA, A.C.R.; TRUCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R.V.L. Formação Águas Claras, Pré cambriano da serra do Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 7, p. 177-197, 1995. (Série Ciências da Terra).

NOGUEIRA, A. F. C.; TRUCKENBRODT, W.; PINHEIRO, R.V.L.; COSTA, J. B. S. Estudo faciológico e tectônico de sedimentos pré-cambrianos na região do Igarapé Águas Claras, Serra dos Carajás-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Boletim de resumos expandidos: Sessões temáticas**. São Paulo: SBG. 1992. v.2, p. 443-444.

OLIVEIRA, E.P. et al. Limiting factors in applying geochemistry to tectonic settings identification in continental áreas: implications to the Carajás basic metavolcanics, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 4., 1993, Brasília. **Resumos expandidos...** Brasília: SBGq, 1993. p. 20-22.

OLSZEWSKI, W.J. et al. The age, origin, and tectonics of the Grão Pará Group and associated rocks, Serra dos Carajás, Brazil: Archean continental volcanism and rifting. **Precambrian Research**, v. 42, p. 229-254, 1989.

- PETTIJOHN, F. J. **Sedimentary Rocks** New York: Harper & Row, 1975. 628p.
- PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E.; SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. New York: Spriger-Verlag., 1987. 553 p.
- PINHEIRO, R.V.L. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike slip systems, Amazon, Brazil**. 1997. 408 f. Tese (Doutorado) - University of Durham, England, 1997.
- PINHEIRO, R.V.L.; HOLDSWORTH, R.E. Evolução tectonoestratigráfica dos Sistemas Transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Cráton Amazônico, Pará. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 4, p. 597-606, 2000
- PINHEIRO, R.V.L.; HOLDSWORTH, R.E. Reactivation of Archaean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. **Journal of the Geological Society**, v. 154, p. 99-103, 1997.
- PINHEIRO, R.V.L.; NOGUEIRA, A.C.R. Carajás: Bacia transtensiva invertida em flor positiva ou segmento de bacia extensional localmente invertida por transpressão? In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8., 2003, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBGNúcleo Norte, 2003. 1 CD-ROM.
- RAMOS, J.F.F. et al. Uma discussão sobre sequências sedimentares tidas como formação Rio Fresco, Sudeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 2, p. 862–872.
- RAMOS, J.F.F. et al. Mapeamento geológico. In: PROJETO Parauapebas. Convênio SUDAM-UFPA-FADESP, 1983. p.66
- READING, H.G.; COLLINSON, J.D. Clastic coasts. In: READING, H.G. (Ed.). **Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy**. [S.l.]: Blackwell Science, 1996. p.154-231.
- REGO, L.F.M. Notas geográficas e geológicas sobre o Rio Tocantins. **Boletim do Museu Emílio Goeldi da História Natural e Etnologia**, Belém, n. 9, p. 272-288, 1933.
- RÉQUIA, K.; FONTBOTÉ, L. The Salobo iron oxide copper-gold deposit, Carajás, northern Brazil. In: PORTER, T.M. (Ed.). **Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective**. Adelaide: Australian Mineral Foundation, 2000. p. 225-236.
- RICCI, P.S.F. et al. The reanalysed Carajás Block is interposed between the Bacajá (the crustal reworking “lost link” now being predicted) and Rio Maria Archean terranes – Guaporé Craton. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 8., 2003, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG, 2003. 1 CD-ROM.
- RONZÊ, P.C. et al. Alemão copper-gold (U-REE) deposit, Carajás, Brazil. In: PORTER, T.M. (Ed.). **Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective**. Adelaide: Australian Mineral Foundation, 2000. p. 191-202.

SACHS, L.L.B.; BATISTA, J.J. O magmatismo associado ao depósito cupro aurífero de Igarapé Bahia, Carajás, Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú, SC. **Anais...** Camboriú, SC: SBG. p.1:306-308.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG**. Brasília, DF: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 169-226.

SANTOS, M.G.S. **Estudo dos isótopos de Pb e Nd do Depósito de Cu-Au (U-ETR) Alemão, Província Mineral de Carajás (PA)**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

SILVA, C.M.G., VILLAS, R.N. The Águas Claras Cu-sulfide ± Au deposit, Carajás region, Pará, Brazil: geological setting, wall-rock alteration and mineralizing fluids. **Rev. Bras. Geociências**, v. 28, n. 3, p. 315-326, 1998.

SILVA, G.G. et al. Geologia. In: BRASIL. Projeto Radam. **Folha SB. 22 - Araguaia e parte da folha SC. 22 - Tocantins: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1974. p. I/3- I/143. (Levantamentos de recursos naturais, 4).

SIQUEIRA J.B., REGO J.L., AIRES FILHO B. Relações entre coberturas siliciclásticas da Formação Rio Fresco e vulcanoclásticas do Grupo Igarapé Bahia (Carajás / PA). In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: SBG, 2001. CD ROM.

SOARES, A.D.V. et al. Geologia e mineralizações do depósito de Cu-Au Alemão – Província Mineral de Carajás (PA). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1999, Manaus. **Resumos expandidos...** Manaus: SBG, 1999. p. 144-147.

SOARES, A.V. et al. Área Águas Claras: contexto geológico e mineralizações. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., 1994, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: SBG, 1994. p. 379-382.

SOUZA, Z.S. et al. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrain and the Carajás block. In: SYMPOSIUM OF ARCHEAN TERRANES OF THE SOUTH AMERICA PLATFORM, 1996, Brasília. **Extended abstracts...** Brasília: SBG, 1996. p. 31-32.

TALLARICO, F.H.B. et al. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. **Economic Geology**, v. 100, n. 1, p. 7-28, 2005.

TASSINARI C.C.G. **O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos**. 1996. 139 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Ed.). **Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-485.

TASSINARI, C.C.G. et al. The Amazonian Craton. In: CORDANI, U.G. et al. (Ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2000. p. 41-95. Trabalho apresentado ao 31. International Geological Congress, 2000.

TAZAVA, E.; OLIVEIRA, C.G. The Igarapé Bahia Au- Cu-(REE-U), Carajás Mineral Province, northern Brazil. In: PORTER, T.M. (Ed.). **Hydrothermal iron oxide copper gold & related deposits: a global perspective**. Adelaide: Australian Mineral Foundation, 2000. p. 203-212.

TEIXEIRA, J.B.G.; EGGLEER, D.H. Petrology, geochemistry, and tectonic setting of Archean basaltic and dioritic rocks from the N4 iron ore deposit, Serra dos Carajás, Brazil. **Acta Geologica Leopoldensia**, 40:71-114, 1994.

TEIXEIRA, W. et al. A review of the geochronological of the Amazonian Craton: tectonic implications. **Precambrian Research**, v. 42, n. 3-4, p. 213-227, 1989.

TOLBERT, G. E.; SANTOS, B. A. dos; ALMEIDA, E. B. de; RITTER, J. E. Recente descoberta de ocorrências de minério de ferro do estado do Pará. **Min. Met.**, v; 48, n. 288, p. 253-256, 1968.

TRENDALL, A.F. et al. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 3, p. 265-277, 1998.

TRUCKENBRODT, W.; ANAISSE Jr., J.; NOGUEIRA, A.C.R. Contribuição à petrografia dos arenitos da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano, Serra dos Carajás. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 5., 1996, Belém. **Resumos expandidos...** Belém: SBG-Núcleo Norte, 1996. p. 217-219.

TUCKER, M.E. **Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks**. 2ed. [S.l.]: Blackwell Scientific Publications, 1992. 260p.

VASQUES, M. L.; ROSA-COSTA, L. T.; Silva, C. M. G.; Klein, E. L. Compartimentação Tectônica. In: VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG : texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará** Escala 1:1.000.000. Belém: CPRM, 2008. 328p.

VILLAS, R.N.N.; SANTOS, M.D. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. **Mineralium Deposita**, v. 36, n. 3/4, p. 300-331, 2001.

WALKER, R.G.; JAMES N.P. (Ed). **Facies models response to sea level change**. [S.l.]: Geological Association of Canadá, 1992. 407p.

WHITNEY, D. L.; EVANS, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 95, p. 185-187, 2010.

WINTER, C.J. **Geology and base-metal mineralization associated with Archaean ironformation in the Pojuca Corpo Quatro Deposit, Carajás, Brazil**. 173 f. 1994. Tese (Doutorado) - University of Southampton, Uk, 1994.

ZANG, W.; FYFE, W.S. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brazil. **Mineralium Deposita**, v. 30, n. 1, p. 30-38, 1995.