



**Universidade Federal do Pará  
Instituto de Geociências  
Faculdade de Geologia**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PETROGRAFIA E PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO GOROTIRE, COM  
BASE NA AVALIAÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM (FD162),  
PROTEROZÓICO DA SERRA DO CARAJÁS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**JOÃO VICENTE TAVARES CALANDRINI DE AZEVEDO**

**Orientador: Dr. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior  
(IG/UFPA)**

---

**BELÉM/PARÁ**

**2018**



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

**JOÃO VICENTE TAVARES CALANDRINI DE AZEVEDO**

**PETROGRAFIA E PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO GOROTIRE, COM  
BASE NA AVALIAÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM FD162,  
PROTEROZÓICO DA SERRA DO CARAJÁS**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:**

**JOÃO VICENTE TAVARES CALANDRINI DE AZEVEDO**

**Orientador: Dr. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior  
(IG/UFPA)**

---

**BELÉM  
2018**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

A994p Azevedo, João Vicente Tavares Calandrini de.  
Petrografia e proveniência da Formação Gorotire, com base na avaliação de testemunhos de sondagem (FD162), proterozóico da Serra do Carajás / João Vicente Tavares Calandrini de Azevedo, . — 2018.  
xiv, 37 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior  
Coorientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Petrografia. 2. Sedimentologia. 3. Fácies. 4. Formação. 5. Gorotire. I. Título.

CDD 552.0098115

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Faculdade de Geologia**

**PETROGRAFIA E PROVENIÊNCIA DA FORMAÇÃO GOROTIRE, COM  
BASE NA AVALIAÇÃO DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM (FD162),  
PROTEROZÓICO DA SERRA DO CARAJÁS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado por:**  
**JOÃO VICENTE TAVARES CALANDRINI DE AZEVEDO**

**Como requisito para à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia**

Data de aprovado: 07/12/2018

Conveito: B

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. José Bandeira Cavalcante da Silva Junior.  
Universidade Federal do Pará-UFPA

---

Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Universidade Federal do Pará-UFPA

---

Ms. Raphael Neto Araújo  
Serviço Geológico do Brasil-CPRM

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará, pela estrutura aos graduandos; A VALE por ceder os testemunhos de sondagem para a produção desse trabalho.

Agradeço a Deus pela dádiva da vida com saúde. Aos meus pais por sempre me ajudarem, aconselharem e compreenderem que a educação é a vela no meio da escuridão. À minha avó Áurea de Araújo Tavares, pelos mais de quinze anos de convivência juntos. Ao meu irmão gêmeo Vicente César, por estar sempre ao meu lado. Aos familiares que de alguma forma ajudaram na minha graduação. Ao espaço ITEC Cidadão, pelas experiências incríveis e a Gina Calzavara, coordenadora do espaço.

Aos professores José Bandeira e Afonso Nogueira pelo apoio nas horas mais difíceis do trabalho. Ao grupo do GSED, Hudson Santos, Pedro Augusto, Alexandre Cardoso e Luiz Saturnino muito obrigado por me aturarem e me ajudarem, enquanto vocês tinham suas dissertações para terminar.

Aos técnicos do laboratório de laminação, Joelma Lobo e de sedimentologia, Everaldo Cunha. À secretaria do curso, aos bibliotecários, verdadeiros anjos em nos apoiar na busca do conhecimento e demais profissionais do IG.

Por fim agradeço a turma de geologia 2014, por me receberem e por termos passados momentos de alegria, raiva, desilusão, euforia e profissionalismo. Agradeço aos “folhelhosos”, Jéssica, Débora, Fernanda, Matheus, Bianca, Fransua, Liuzelí e Suzanny, por estarem desde o começo juntos nessa caminhada. E claro ao meu amigo Bruno Oliveira que sempre esteve comigo, me apoiando e me ajudando durante o curso, que não é fácil.

“É melhor acender a vela do que praguejar contra a escuridão”

Adágio

## RESUMO

Os testemunhos estão inseridos no contexto do Cráton Amazônico que possui área de 4.500.000 Km<sup>2</sup>. Neste se localiza a Província Mineral Carajás, sendo o maior núcleo arqueano preservado, a sudeste do estado do Pará. É composta pelos domínios Rio Maria, ao sul e Carajás, ao norte, os quais são divididos pelo Domínio de transição. A aquisição de dados contou com a utilização de bibliografia, análise de fácies, difração de raio-x e catodoluminescência. A testemunhagem foi realizada na região da Serra do Rabo a sudoeste do granito Rancho Alegre (2,743 +- 1,6) e a extremo sudeste do granito arqueano estrela (2,763 +- 7), ambos neoarqueanos. A Formação Gorotire é uma unidade paleoproterozóica com características distintas da Formação Águas Claras e apresenta cores vermelhas a marrons com estratificações cruzadas acanaladas, estratificações plano-paralelas, inclinadas com ângulos de 5<sup>o</sup> a 7<sup>o</sup> (subparalelas), e estruturação maciça. As amostras são texturalmente e composicionalmente imaturas com granulometria areia média a grossa, com grãos subangulosos a angulosos, pobremente selecionadas. Neste trabalho foram descritas quatro fácies sedimentares, resultando em uma associação de fácies: Canais fluviais entrelaçados proximais. A partir das técnicas de raio-X e catodoluminescência foram determinados os constituintes principais da unidade e sua área fonte, respectivamente. Os clastos, que são alvo do trabalho, são de origem sedimentar, ígnea e metamórfica, sendo os clastos de quartzo de grande importância, pois ajudaram a inferir a fonte dos sedimentos que se mostrou homogênea, a partir de granitoides neoarqueanos de composição TTG, rochas, sedimentares, metassedimentares, ígneas e químicas. A deposição dos sedimentos se deu em ambiente de canais fluviais próximos com fonte originada de granitóides e rochas sedimentares arqueanas, além de sequências metassedimentares.

Palavras-chave: Petrografia. Sedimentologia. Fácies. Gorotire. Formação.

## ABSTRACT

The testimonies are inserted in the context of the Amazon Craton that has an area of 4,500,000 Km<sup>2</sup>. This is the Carajás Mineral Province, being the largest preserved Archean nucleus, southeast of the state of Pará. It is composed of the Rio Maria, to the south and Carajás to the north, which are divided by the Transitional Domain. Data acquisition included the use of bibliography, facies analysis, x-ray diffraction and cathodoluminescence. The drills were carried out in the Serra do Rabo region to the southwest of the Rancho Alegre granite (2,743 + - 1,6) and at the southeast end of the Archean granite star (2,763 + - 7), both neoproterozoic. The Gorotire Formation is a paleoproterozoic unit with distinct characteristics of the Águas Claras Formation and presents red to brown colors with crossed laminations, plane-parallel laminations, inclined with angles of 5° to 7° (subparallel), and massive structuring. The samples are texturally and consistently, medium to coarse sand granulometry, with subangular to angular grains, poorly selected. In this work seven sedimentary facies were described, resulting in an association of facies: alluvial facies. From the X-ray and cathodoluminescence techniques, the main constituents of the unit and its possible source area, respectively, were determined. The clasts, which are the target of the work, are of sedimentary origin, igneous and metamorphic, being the clasts of quartz of great importance, since they helped to infer the source of the sediments that was homogeneous, from near-archean granitoids of composition TTG, sedimentary, metasedimentary, igneous and chemical rocks. The deposition of the sediments occurred in a braided fluvial system, and the sediments come from metamorphic and igneous fields, besides metasedimentary areas.

Key words: Petrography. Sedimentology. Facies. Gorotire. Formation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Contexto do Cráton Amazônico na Palatforma Sul-Americana, modificado de Almeida (1981) e Vasquez *et al.* (2008). .....4
- Figura 2- Províncias geocronológicas segundo a proposta de Tassinari & Macambira (2004) e Santos (2003), respectivamente. Na primeira a bacia Carajás está inserida nas Províncias Amazônia Central e Imaroni-Itacaiúnas, enquanto na proposta de Santos (2003), a Província Carajás se insere totalmente nas províncias de Tassinari & Macambira (2004). .....5
- Figura 3- Modificado de (Pinheiro 1977, Lima & Pinheiro 2002). .....6
- Figura 4- Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás mostrando o limite aproximado dos domínios Rio Maria e Bacia de Carajás, separados pelo Domínio de Transição (modificado de Feio et al. 2013). Com destaque para a área de estudo, em amarelo, no final da Falha Carajás. ....7
- Figura 5- Análise de raio-X das Formações ferríferas bandadas referente a Formação Carajás ..... 10
- Figura 6- Mapa de localização da Formação Gorotire, próximo ao granito Rancho Alegre. ..11
- Figura 7- Aspectos faciológicos da Formação Gorotire no testemunho FD 162 com destaque para o contato concordante com a Formação Carajás perfil do furo Sequência 5 da sucessão sedimentar do Bloco Carajás, inserida no topo do Grupo Águas Claras, interpretada como depósitos fluviais entrelaçados distais. A) Arenito médio a grosso com estratificação cruzada tabular. B) Arenito médio a grosso com segregação granulométrica nos *foresets*, observada em seção delgada (C). D) Aspecto textural dos arenitos com grãos arredondados e subarredondados com desenvolvimento expressivo de sobrecrescimentos de quartzo marcados por linha de sujeira..... 11
- Figura 8- Perfil estratigráfico da Formação Gorotire (MesoProterozoico?) no testemunho FD162. Os testemunhos do intervalo que inclui as caixas 40 a 16 não foram encontrados. Observar o espaçamento entre as camadas de conglomerado e arenitos denotando ciclos com maior e menor aporte de siliciclásticos grossos. A Formação Gorotire pode ser subdivida em pelos menos duas sucessões separadas por superfícies de discordância erosiva com a Formação Carajás (BIF)..... 12

- Figura 9- Classificação das rochas d Formação Gorotire com base nos parâmetros de Folk 1954, onde é usada a quantidade de Lama, areia e cascalho para determinar o nome da rocha. .... 13
- Figura 10: Fotomicrografia dos grãos de feldspato. A) Grão de quartzo policristalino com extinção ondulante com contatos suturados e B) Grão de quartzo monocristalino com extinção uniforme. C) Grão de plagioclásio sericitizado com maclamento albita bem preservado D) Grão de microclina com maclamento xadrez e bordas dissolvidas formando embaiamentos. E) Grão de plagioclásio com textura reliquiar minerquítica formada por quartzo vermiforme nas bordas e F) Grãos de plagioclásio com textura reliquiar pertírtica, onde é possível ver o plagioclásio albita intercrescido. Os grãos se encontram moderadamente a bem fraturados. Notar os constituintes diagenéticos como cimentação de oxihidróxido de Fe e alteração de feldspatos para argilominerais, formando pseudomatriz (Ps) esmagada entre os grãos mais resistentes. .... 16
- Figura 11: Fotomicrografia dos constituintes diagenéticos da Formação gorotire. A) detalhe para os coatings de oxi-hidróxido de Ferro. B) Pseudomatriz (Ps) esmaga entre os grãos mais resistentes como quartzo. C) Cimentação de oxi-hidróxido de Ferro com ocorrência facilitada por fraturas na rocha. D) Grão de plagioclásio sendo dissolvido e substituído por oxi-hidróxido de Fe, preenchendo a porosidade secundária..... 17
- Figura 12- Fotomicrografias dos fragmentos de rocha presentes na Formação Gorotire. A e B) Grão de xisto com textura lepdoblástica preservada, causada por metamorfismo; c) Grão de quartzito com grãos recristalizados em com contatos internos suturados; D) Fragmento de chert. Detalhe para granulometria muito fina; E) Fragmento de argilito; F) Fragmento de argilito. Detalhe para granulação fina.; G) Fragmento de rocha granítica de composição ácida, arredondado, o que indica transporte da área fonte, provável fragmento do Granito Rancho Alegre; H) Fragmento de rocha ígnea. Plagioclásio com textura reliquiar de intercrescimento pertírtico; J) Fragmento de rocha metamórfica com grãos internos suturados e bastante orientados, além de extinção ondulante, resultado da deformação; L) Fragmento de anfibolito. Reparar nos minerais com hábito espicular (anfibólitos) e minerais saussuríticos (plagioclásios); M) Pseudomatriz, resultado da alteração dos grãos de feldspato. .... 18
- Figura 13- Fotomicrografias dos grãos de quartzo com respectivas cores obtidas através do método de catodoluminescência. Na direita os nicóis estão descruzados; à esquerda

os nicóis estão cruzados. A, B, C e D) cores azul escura dos grãos de quartzo e azul brilhante claro dos grãos de plagioclásio; E e F) Detalhe para os grãos em forma de mosaicos poligonais, indicados pela seta azul, característico de alto grau metamórfico; G e H) Detalhe para os grãos de plagioclásio com cores marrom escura; I e J) Detalhe para os grãos de feldspato com cores azul brilhante claro; L e M) Grãos de quartzo com cores cinza escura. As especificações de Kv, tempo de exposição e amperagem são as seguintes: A,B) Kv- 28; Texp 72,9 s-; Amp- 220 v.C,D ) Kv- 23; Texp- 72,9 s; Amp- 202 v.E,F ) Kv-26; Texp- 70 s; Amp- 204 v. G,H) Kv- 24; Texp- 69,1 s; Amp- 244 v. I,J) Kv- 22; Texp- 72,6 s; Amp- 220 v. L,M ) Kv- 170; Texp- 76,2; Amp- 192 v. ....21

Figura 14: Campos composicionais indicando a origem dos sedimentos, relacionando-os a ambientes tectônicos distintos (Dicknson, 1985). Para os arenitos e conglomerados a proveniência predomina no campo de arcos magmáticos. ....22

Figura 15- Diagrama de regime de fluxo versus o diâmetro da partícula. Repara o regime de fluxo superior no qual se depositaram as partículas de granulometria areia média a grossa (entre 0,1 mm – 1,0 mm) da Formação Gorotire. ....24

Figura 16- Principais tipos de fluxos gravitacionais subaquosos de sedimentos, em relação aos mecanismos de sustentação destes. Nestes movimentos de interação água x sedimento formam-se essas estruturas Fonte: Modificado de Middleton & Hampton (1974) .....24

Figura 17-:Fotomicrografia dos eventos diagenéticos. A e B) Grãos de mica contorcida, característica dos primeiros estágios diagenéticos, com a compactação mecânica; C e D) Contatos côncavo-convexo entre grãos de plagioclásio e quartzo, indicados pelas setas amarelas. Gerados por pressão de dissolução; E, F, I e J) Cloritização, que ocorre durante a diagênese e depois desta, evidenciado pela relação com a pseudomatriz; G e H) Poros móldicos de plagioclásio substituído por oxihidróxido de Fe, indicados pela cor amarela; L e M) Formação da pseudomatriz a partir dos feldspatos formando minerais autigênicos. ....27

Figura 18- Análises de Raio-X, provenientes das amostras da Formação Gorotire. Detalhe Para cloritização, grande presença de micas e feldspatos potássicos.....28

Figura 19- Cominuição dos grãos detríticos da Formação Gorotire, através do metamorfismo dinâmico relacionado a Falha Carajás.....29

Figura 20- Modelo deposicional da Formação Gorotire, baseado nos estudos de fácies e análises petrográficas detalhadas. Canal fluvial entrelaçado com tectônica ativa extensional que ajuda na origem de aporte sedimentar atuando juntamente com o clima e formando as estruturas abordadas na discussão. ....	30
Figura 21- Testemunhos de sondagem da Formação Gorotire. A) 162-1; B) 162-2; C) 162-3; D) 162-4; E) 162-5 .....	36

### LISTA DE TABELAS

Quadro 1- Dados geocronológicos referentes ao Domínio Carajás. (1) Machado <i>et al.</i> 1991, (2) Wirth <i>et al.</i> 1986, (3) Sardinha (2002), (4) Barros <i>et al.</i> 2001, (5) Dias <i>et al.</i> 1996, (6) Trendal 1998, (7) Galarza Toro 2001, (8) Gibbs <i>et al.</i> (1986), (9) Pidgeon <i>et al.</i> 2000. ....	9
Quadro 2- Tabela com o tipo de rocha fonte dos sedimentos e suas respectivas cores através do método de catodoluminescência (Boggs 2006). ....	19
Quadro 3- Tabela de associação de fácies referente a Formação Gorotire, baseada nos testemunhos de sondagem e petrografia. ....	
Quadro 5- Porcentagem dos constituintes da Formação Gorotire .....	37
Quadro 6- Constituintes usados na classificação dos conglomerados e arenitos, segundo Folk (1954) .....	37
Quadro 7- Porcentagem dos principais constituintes usados na classificação de cada amostra. ....	37

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	1
3	MATERIAS E MÉTODOS.....	2
3.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.2	ANÁLISE DE FÁCIES.....	2
3.3	DIFRATOMETRIA DE RAIO-X.....	2
3.4	PETROGRAFIA.....	3
3.5	TÉCNICA DE CATODOLUMINESCÊNCIA.....	3
4	GEOLOGIA REGIONAL.....	4
4.1	PROVÍNCIA MINERAL CARAJÁS.....	5
4.2	ASSEMBLÉIAS DO EMBASAMENTO E DE COBERTURA DA PC.....	6
4.3	DOMÍNIO CARAJÁS.....	7
4.4	SUPERGRUPO ITACAIÚNAS E COBERTURAS SEDIMENTRES.....	7
5.6	DOMÍNIO DE TRANSIÇÃO.....	9
5	FORMAÇÃO GOROTIRE.....	9
6	DESCRIÇÃO DO FURO FD162 (FORMAÇÃO CARAJÁS).....	9
7	DESCRIÇÃO DO FURO FD162 (FORMAÇÃO GOROTIRE).....	10
8	TABELA FACIOLÓGICA.....	13
9	DESCRIÇÃO FACIOLÓGICA.....	14
9	FRAGMENTOS DE ROCHA E PROVENIÊNCIA.....	18

<b>10 ANÁLISE FACIOLÓGICA .....</b>	<b>22</b>
<b>11 EVENTOS DIAGENÉTICOS .....</b>	<b>25</b>
13.1 EODIAGÊNESE .....	25
13.2 MESODIAGÊNESE.....	26
13.3 TELODIAGÊNESE	
<b>12 MODELO DEPOSICIONAL E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA .....</b>	<b>27</b>
<b>13 CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>35</b>
<b>APÊNDICE A – IMAGENS DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM (FURO FD</b>	
<b>162) .....</b>	<b>36</b>
<b>APÊNDICE B – TABELAS DE CONTAGEM DE PONTOS E DE</b>	
<b>PORCENTAGENS .....</b>	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os mapas geológicos da região consideram as rochas sedimentares de Carajás como uma única unidade de idade arqueana representada pela Formação Águas Claras, do Grupo Grão Pará (DOCEGEO 1988, Araújo & Maia 1991). Entretanto, registros de rochas sedimentares imaturas no sudeste da Serra do Rabo (Pinheiro 1997) impulsionaram investigações acerca da existência de uma nova unidade estratigráfica na região, com características litológicas distintas daquelas atribuídas à Formação Águas Claras, descrita na porção central da Serra dos Carajás (Nogueira *et al.* 1995, Pinheiro 1997, Lima & Pinheiro 2001).

A Formação Gorotire foi registrada pela primeira vez por Barbosa *et al.* (1966), na Bacia Rio Fresco, próximo à Serra dos Gradaús, em Redenção (PA), atualmente teve o nome alterado pela CPRM.

A ocorrência de clastos de granodioritos, monzogranitos e charnockitos de idade riaciana nesta unidade sugere idade orosiriana ou riaciana, após a estabilidade dos domínios arqueanos e paleoproterozoicos da Província Carajás. Lima & Pinheiro (2001) sugere reativação mesoproterozoica da Falha Carajás gerando gráben assimétrico preenchido pelos depósitos Gorotire.

Nascimento e Di Alexandre (2015) interpretaram esta unidade aflorante na porção sudeste do Bloco Carajás como um sistema de leque aluvial com migração para nordeste e norte, consistindo de duas associações de litofácies: leque proximal dominado por fluxo de gravidade e leque intermediário a distal com rios entrelaçados distributários.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo a interpretar paleoambientes da Formação Gorotire inferindo sistemas deposicionais através da análise de fácies baseada em descrições detalhadas de amostras de testemunho de sondagem desta, além da evolução diagenética. Dados de proveniência dos sedimentos que deram origem a Formação Gorotire foram gerados com base na análise dos litoclastos que formam a matriz da rocha.

### 3. MATERIAS E MÉTODOS

#### 3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica se deu através de artigos e livros sobre o leste do Cráton Amazônico onde se encontra a Bacia do Carajás, objeto direto do estudo dos furos de sondagem, contribuindo para o entendimento geológico da área de estudo abordada.

#### 3.2 ANÁLISE DE FÁCIES

Essa técnica se baseia no método proposto por Walker (1992) que tem por objetivo individualizar fácies que se compõem por características geométricas, texturais, padrões de paleocorrente e estruturas sedimentares. A partir da descrição dos testemunhos do furo FD162 foram reconhecidas as fácies presentes que ajudaram a compreender os processos sedimentares que gerou tal fácies.

As fácies identificadas foram associadas aos processos sedimentares responsáveis pela origem das mesmas. Com a interpretação e associação de fácies foi possível definir e identificar paleoambientes que compõem o sistema deposicional da Formação Gorotire.

Os resultados dessas análises são apresentados na forma de perfil estratigráfico do testemunho de sondagem e blocos diagramas que representam o modelo tridimensional das associações de fácies (Walker 1990, 1992). Os perfis estratigráficos foram produzidos pelo *software Corel Drawn 8X*. A análise faciológica, mesmo com a ausência de afloramentos que mostram a distribuição lateral de fácies, foi possível de ser realizada através dos testemunhos de sondagem, o que resultou em um modelo deposicional de canais fluviais entrelaçados. As amostras das fácies determinadas foram coletadas para análise petrográfica que auxiliaram e enriquecerão as descrições faciológicas.

#### 3.3 DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

Antes das análises mineralógicas as amostras foram primeiramente desagregadas em partículas de 1,0 mm e posteriormente pulverizadas em grau de ágata.

As análises por Difratometria de Raios-X foram realizadas no Difrátômetro modelo *Empyrean* da *PANalytical*, com tubos de raios-X cerâmico de anodo de Co ( $K_{\alpha 1} = 1,789010 \text{ \AA}$ ), foco fino longo, filtro  $K_{\beta}$  de Fe, detector PIXCEL3D-Medpix3 1x1, no modo *scanning*, com voltagem de 40 kV, corrente de 35mA, tamanho do passo  $0.0262^{\circ}$  em

$2\theta$ , varredura de  $3.0072^\circ$  a  $94.9979^\circ$  em  $2\theta$ , tempo/ passo de 30,6 s, fenda divergente:  $1/4^\circ$  e anti-espalhamento:  $1/2^\circ$ , máscara: 10 mm.

O tratamento dos dados com o software X'PertHighScore versão 2.1b, que contém um banco de dados, pertencente a *PANanalytical*, do PCPDFWIN (*PowderDiffraction FileInternational Centre for Diffraction Data*).

### 3.4 PETROGRAFIA

Foram confeccionadas dez lâminas delgadas no laboratório de Laminação da Faculdade de geologia (FAGEO), a partir de amostras cedidas pela empresa de mineração VALE, para melhor visualização dos constituintes mineralógicos. Os constituintes primários, diagenéticos e porosidade, bem como a classificação da rocha, grau de seleção e índice de empacotamento serão classificados e quantificados por meio da contagem de 300 pontos em cada lâmina (Kahn 1956, Folk 1954).

As análises do registro microfotográfico das lâminas foram realizadas em microscópio petrográfico Axioskop polarizador de acessórios Zeiss, acoplado a uma câmera digital *SONY Cybershot*, MPEG MOVIE EX, com 3,3 Megapixels e zoom de 6.0x em modo de cena, nos quais serão obtidas fotomicrografias, locado no laboratório de petrografia sedimentar do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) da Universidade Federal do Pará e credenciado pelo CNPq.

Os dados petrográficos são considerados inéditos já que esta unidade tem sido estudada somente com base em afloramentos.

### 3.5 TÉCNICA DE CATODOLUMINESCÊNCIA

A técnica de catodoluminescência promoverá um melhor entendimento sobre os constituintes diagenéticos da rocha gerando melhores interpretações acerca da proveniência dos clastos e grãos dos arenitos da Formação Gorotire. Quando um feixe de elétrons acelerados (fonte de energia) bombardeia a superfície de um material, vai ocorrer emissão de radiação (Matter & Ramseyerl 1984).

Equipamento CITL Cathodoluminescence Mk5-2. As imagens foram capturadas pela câmera Leica DFC310 FX acoplada ao microscópio Leica DM4500 P Led e tratadas no software LAS V4.4.

#### 4. GEOLOGIA REGIONAL

O território brasileiro se encontra integralmente na Plataforma Sul-americana e seu embasamento apresenta-se bem exposto no país, sendo constituído por rochas metamórficas e vulcânicas de idade pré-cambriana. Tal embasamento é dividido em três grandes escudos: Escudo das Guianas, Escudo Brasil Central (ou Guaporé) e Escudo Atlântico (Figura 1) (Almeida, 1977).

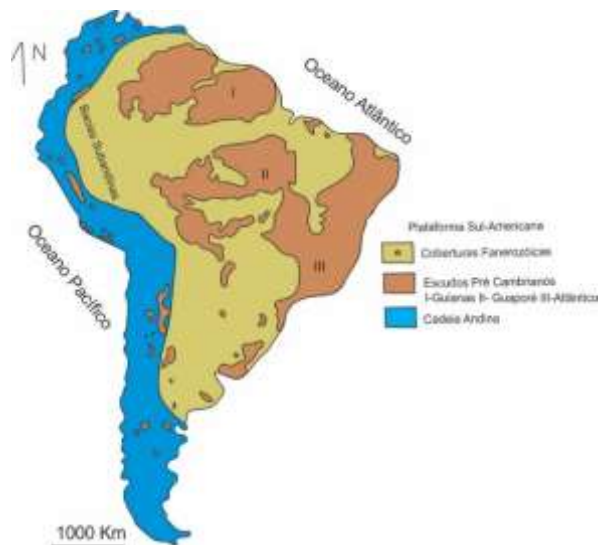


Figura 1- Contexto do Cráton Amazônico na Plataforma Sul-Americana, modificado de Almeida (1981) e Vasquez *et al.* (2008).

Em sua evolução são reconhecidas áreas cratônicas, que são janelas mais antigas do embasamento e o Cráton Amazônico é a maior dessas exposições sendo dividido em duas províncias, pela Bacia do Amazonas: Província Rio Branco ao norte e Província Tapajós ao sul (Almeida 1977).

O Cráton Amazônico possui maior porção contida no Brasil, e se estende a países vizinhos (Venezuela, Guiana Suriname e Guiana Francesa), onde os limites estão encobertos por sedimentos fanerozóicos. No Brasil, o cráton tem uma área de 4.500.000 Km<sup>2</sup> correspondendo a cerca de metade do território (Hassui 2012). Se limita ao norte pela margem atlântica, e nas bordas oriental e meridional pelos cinturões Araguaia-Paraguai-Tocantins (neoproterozóico), originados durante o Ciclo Brasileiro e limita-se a oeste pela Cadeia Andina (Vasquez *et al.*, 2008).

O Cráton Amazônico é rodeado por cinturões orogênicos neoproterozóicos e dividido em seis províncias geocronológicas, ou seja, a partir de datações foram definidas as seguintes províncias: Amazônia Central (> 2,5 Ga); Marono-Itaciúnas (2,2-1,95 Ga); Ventuari-Tapajós (2,0-1,81 Ga); Rio Negro-Jurema (1,78-1,55 Ga); Rondoniana-São Ignácio (1,56-1,3 Ga) e

Sunsás (1,20-0,95 Ga). O Cráton Amazônico é dividido segundo a proposta de Santos *et al* (2000, 2003), que limita as diferentes províncias, também com base em dados geocronológicos (Figura 2) e mais detalhes serão abordados a seguir (Tassinari & Macambira 1999, Tassinari & Macambira 2004).

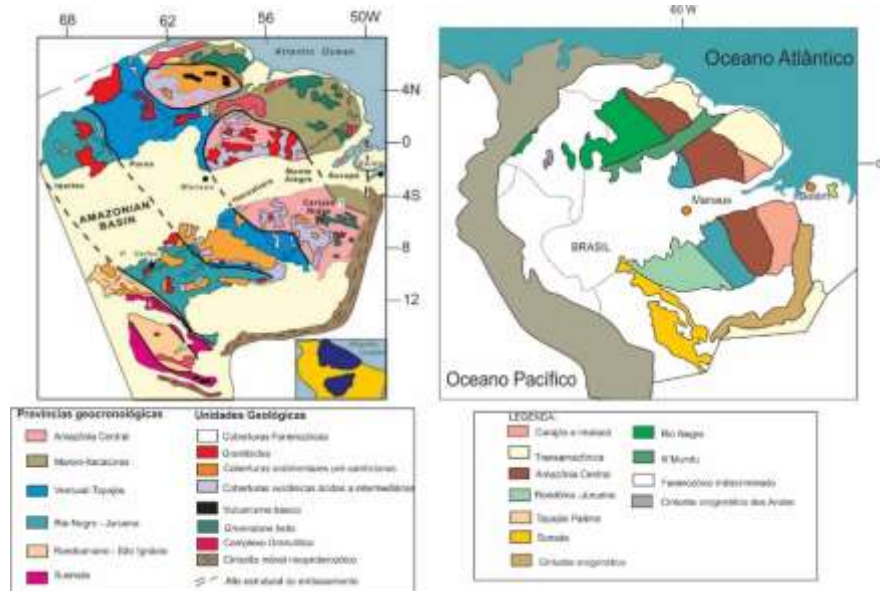


Figura 2- Províncias geocronológicas segundo a proposta de Tassinari & Macambira (2004) e Santos (2003), respectivamente. Na primeira a bacia Carajás está inserida nas Províncias Amazônia Central e Maroni-Itacaiúnas, enquanto na proposta de Santos (2003), a Província Carajás se insere totalmente nas províncias de Tassinari & Macambira (2004).

#### 4.1 PROVÍNCIA MINERAL CARAJÁS

A Província Mineral Carajás é de idade arqueana localizando-se a leste-sudeste do CA nos domínios da Província Maroni-Itacaiúnas e Amazônia Central (Tassinari & Macambira 2004). Ou na proposta de Santos (2003) na Província Carajás, a qual o autor individualizou. Possui estruturação disposta segundo WNW-ESE e aparente ausência de rochas geradas no Ciclo Transamazônico (Santos 2003).

A PC se limita meridionalmente com o Domínio Santana do Araguaia e a leste se limita com a Província Tocantins, marcado pelo cavalgamento do Cinturão Araguaia, e a oeste, pelas rochas ígneas e sedimentares paleoproterozóicas da Província Amazônia Central que recobrem e cortam as rochas da Província Carajás (Vasquez *et al.* 2008).

## 4.2 ASSEMBLÉIAS DO EMBASAMENTO E DE COBERTURA DA PROVÍNCIA CARAJÁS

Existem diversas propostas para definir tectônica e estratigraficamente as rochas aflorantes ao redor da Serra dos Carajás, dentre as quais se destacam: DOCEGEO (1988), Araújo & Maia (1991) e Pinheiro (1997). Para este trabalho será utilizada a proposta de Pinheiro (1997), que utiliza critérios estratigráficos e tectônicos dessas rochas. As unidades foram separadas em assembléia do embasamento (1) e assembléia de cobertura (2) e serão tratadas a seguir.

Mesoproterozóico		Formação Gorotire
Paleoproterozóico	1,8	Granitóides anorogênicos e diques
Neoarqueano	2,7	Formação Águas Claras
		Formação Parauapebas
		Formação Carajás
		Complexo Granítico Estrela
		Grupo Igarapé Pojuca
Mesoarqueano	3,0	Grupo Igarapé Salobo
		Suíte Plaqué
		Complexo Xingu
		Complexo Pium

Figura 3- Modificado de (Pinheiro 1977, Lima & Pinheiro 2002).

O embasamento da PC é formado por conjuntos litológicos arqueanos do Complexo Pium, Complexo Xingu e granitóides deformados e metamorfizados da Suíte Plaqué (Carneiro *et al.* 2006). O Complexo Xingu é considerado o embasamento cristalino da região, sendo composto por gnaisses TTG, granitos e anfibólitos, além de regiões com migmatização, enquanto o Pium é composto granulitos máficos e félsicos (Machado *et al.* 1991, Araújo & Maia 1991).

A província ainda é subdividida em dois domínios geotectônicos distintos: Terreno *greenstone belt* de Rio Maria de idade mesoarqueana e Bloco Carajás de idade neoarqueana, inicialmente determinado por Souza *et al.* (1996). Em seguida Vazquez (2008) adotou a proposta de Santos (2003) determinando dois domínios tectônicos: Domínio Rio Maria e

Domínio Carajás (Santos 2003). Posteriormente Dall’Agnol *et al.* (2013), reconheceu o Domínio de Transição ou subdomínio de transição (Fig. 04) (Feio *et al.* 2013).

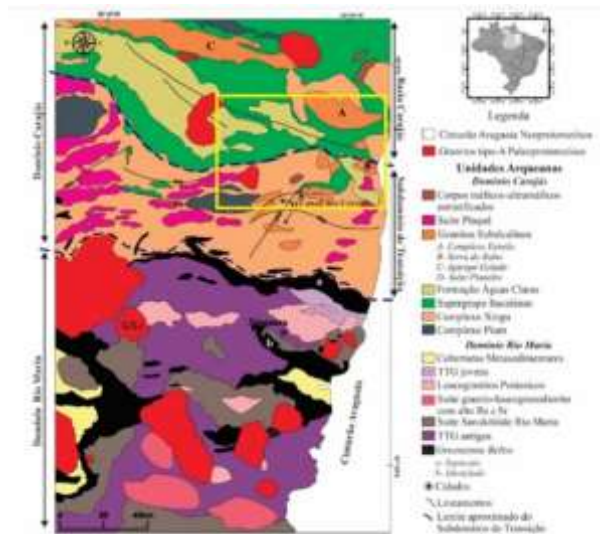


Figura 4- Mapa geológico simplificado da Província Mineral de Carajás mostrando o limite aproximado dos domínios Rio Maria e Bacia de Carajás, separados pelo Domínio de Transição (modificado de Feio *et al.* 2013). Com destaque para a área de estudo, em amarelo, no final da Falha Carajás.

### 4.3 DOMÍNIO CARAJÁS

O Domínio ou Bloco Carajás (Fig. 04) se localiza na porção norte da Província Carajás, sendo constituído por uma associação que representa o embasamento mesoarqueano, sequências metavulcano-sedimentares neoarqueanas (*greenstone belts*) e complexos máfico-ultramáficos, sobrepostos pela associação de cobertura baseado em Pinheiro (1977).

Contemporaneamente às sequências metavulcano-sedimentares ocorrem granitos neoarqueanos, evoluídos composicionalmente. Recobrando a associação *greenstone-belt* verificam-se coberturas sedimentares de plataforma continental neoarqueana, a Formação Águas Claras. Durante o Paleoproterozóico sucedem uma série de granitos tipo A orosianos e corpos ultramáficos siderianos – 2,3 a 2,5 Ga (Vazques *et al.* 2008, Nogueira, 1995).

### 4.4 SUPERGRUPO ITACAIÚNAS (“BACIA DE CARAJÁS”) E COBERTURAS SEDIMENTARES

O Supergrupo Itacaiúnas está localizado aos arredores de Carajás e repousa em inconformidade com o embasamento arqueano do Complexo Xingú. O supergrupo é composto pelos Grupos Igarapé Bahia, Igarapé Salobo, Igarapé Pojuca, Grão-Pará e Rio Fresco e representa o magmatismo mais significativo na “Bacia do Carajás” (Machado 1991,

Wirth *et al.* 1986, DOCEGEO 1988). Neste ainda se inserem os depósitos IOCG do Salobo, Sossêgo e Igarapé Bahia, compostos por rochas metavulcânicas básicas e félsicas, metapiroclásticas e metavulcanoclástica, formações ferríferas bandadas, anfíbolitos e unidades metassedimentares (Moreto *et al.* 2011).

Recobrando as sequências vulcano-sedimentares do Supergrupo Itacaiúnas ocorrem arenitos de idade arqueana em discordância, alocados na porção central do da estrutura em sigmoide da Serra dos Carajás e definidos, primeiramente, por Araújo *et al.* (1988). Posteriormente foi definida como Formação Águas Claras, composta por arenitos, pelitos e siltitos de ambientes litorâneos a fluviais que ocorrem no Sistema Transcorrente Carajás. Anteriormente todas as unidades siliciclásticas eram denominadas de Grupo Rio Fresco, do proterozóico inferior, para a Província Mineral Carajás (DOCEGEO 1988, Nogueira *et al.* 1995, Pinheiro & Holdsworth 1997).

A Formação Águas Claras (2.65 Ga) ocorre discordantemente sobre o Grupo Grão Pará e Igarapé Pojuca sendo coberta pelos arenitos arcoseanos e conglomeráticos da Formação Gorotire, na região da Serra do Rabo, sudeste do cráton amazônico. Parte da Formação Águas Claras está deformada, provavelmente em consequência da Falha Carajás, onde as estruturas possuem caráter rúptil (Dias *et al.* 1996, Pinheiro & Holdsworth 1997).

No Domínio Carajás afloram granitos alongados com *trend* E-W de caráter sintectônico a tardi-tectônico com tendência alcalina a metaluminosa, representando um importante granitogênese na região. Dentre eles estão o Complexo granítico Estrela, Granito Planalto e Granito Serra do Rabo (Rancho Alegre), de idade neoarqueana (Barros *et al.*, 2004).

Por fim intrudindo porções do Supergrupo Itacaiúnas e Formação Águas Claras, ocorrem granitos do tipo A ou anorogênicos da suíte intrusiva do Carajás, nos quais destacam-se os granitos Cigano, datado do paleoproterozóico (statheriano-1,883 + 3 Ga) e Central da Serra dos Carajás datado, também do statheriano – paleoproterozóico superior (1,820 + 49 Ga), ambos pelo método U/Pb em cristais de Zr (Dall’agnol *et al.* 2005; Machado *et al.*, 1991; Wirth *et al.*, 1986).

Quadro 1- Tabela 2- Dados geocronológicos referentes ao Domínio Carajás. (1) Machado *et al.* 1991, (2) Wirth *et al.* 1986, (3) Sardinha 2002, (4) Barros *et al.* 2001, (5) Dias *et al.* 1996, (6) Trendal (1998), (7) Galarza Toro (2001), (8) Gibbs *et al.* (1986), (9) Pidgeon *et al.* (2000).

DOMÍNIO CARAJÁS			
UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	LITOTIPO	MÉTODO	IDADE
<b>Magmatismo Tipo A</b>			
Pojuca	Granitóide	Pb-Pb em Zr	1874 ±2 (1)
Serra Central Carajás	Granitóide	U-Pb em Zr	1,820 ± 49 (2)
Cigano	Granitóide	U-Pb em Zr	1,883 ± 3b(1)
<b>Magmatismo máfico ultramáfico</b>			
Complexo Luanga	Gabro	U-Pb em Zr	2763 ±6 (1)
<b>Granitos alto K</b>			
Velho Salobo	Granitóide subalcalino	U-Pb em Zr	2573 ±3 (1)
Serra do Rabo	Granitóide subalcalino	Pb-Pb em Zr	2743 ±2 (3)
Estrela	Granitóide subalcalino	Pb-Pb em Zr	2763 ±7 (4)
<b>Coberturas sedimentares</b>			
Formação Gorotire	xxx	xxx	Proterozóica
Formação Águas Claras	Arenito; Metarenito	Pb-Pb em Zr; U-Pb em Zr	2645 ± 12; 2680±? (5) (6)
<b>Supergrupo Itacaiúnas</b>			
Grupo Igarapé Pojuca	Anfibolito	U-Pb	2732 ±2 (1)
Grupo Igarapé Bahia	Metavulcanoclástica/ Metavulcânica	U-Pb em Zr/Pb-Pb	2,776 ± 12/ 2745 ±1 (7)
Grupo Grão Pará	Vulcânica	U-Pb em Zr	2751 ±4 (1)
	Riolito	U-Pb em Zr	2758±39 (8)
Grupo Igarapé Salobo	Anfibolito	U-Pb em Titanita	2,497 (1)
		U-Pb em Zr	2,555 (1)
<b>Assembléia do embasamento</b>			
Complexo Xingu	Gnaiss félsico	U-Pb em Zr	2,851 ± 4 (1)
Complexo Pium	Gnaiss félsico	U-Pb SHIRIMP, núcleo de	3,002 ± 14 (9)
		U-Pb SHIRIMP, borda de	2,859 ± 9 (9)

## 5. FORMAÇÃO GOROTIRE

Esta unidade aflorante no sudeste do Bloco Carajás é associada a um ambiente de leques aluviais com migração para nordeste e norte, com associações de duas litofácies: leque proximal dominado por fluxo de gravidade e leque intermediário a distal com rios entrelaçados distributários (Nascimento e Di Alexandre 2015). Neste trabalho os dados divergiram e os depósitos foram associados a um ambiente de canais fluviais entrelaçados proximais, composto por conglomerados na base gradando para arenitos médios a grossos no topo, formando perfis granodescrescente ascendentes.

## 6. DESCRIÇÃO DO FURO FD162 (FORMAÇÃO CARAJÁS)

Representando a porção basal do perfil ocorrem litotipos da Formação Carajás (Fig.8), que são Formações Ferríferas Bandadas (testemunho 162 - 1). A Formação Carajás é

essencialmente constituída por formações ferríferas bandadas, quase totalmente transformadas em minério hematítico. Está em contato concordante com a Formação Parauapebas e ainda ocorrem corpos de rochas máficas (*sills*) concordantes ao acamamento (Macambira 2002).

Em lâmina delgada essa rocha é composta por alternância de bandas de minerais opacos de 0,1 a 0,7 cm de espessura e bandas de minerais silicosos (quartzo) de 0,2 a 1,2 cm. A amostra apresenta laminações subparalelas, provavelmente associadas à deformação, o que levou a classificar a rocha como jaspelito, que é uma formação ferrífera bandada deformada com pouco ou sem nenhum metamorfismo, além de micro-falamentos com movimentação normal.

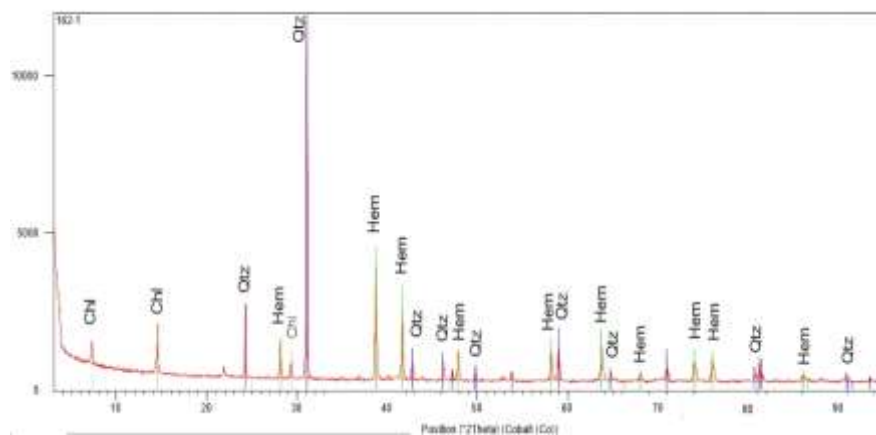


Figura 5- Análise de raio-X das Formações ferríferas bandadas referente a Formação Carajás

## 7. DESCRIÇÃO DO FURO FD162 (FORMAÇÃO GOROTIRE)

Foram descritas nove amostras de testemunho de sondagem (162-2 a 162-10) da Formação Gorotire (ANEXO A), em escala micro e macroscópica, o que possibilitou a determinação de um modelo faciológico, onde são discutidos os processos genéticos de cada fácies, no contexto com o sistema deposicional.

A Formação Gorotire, está localizada aos arredores do granito Rancho Alegre, próximo a Serra do Rabo na região de Carajás (figura 06). É constituída por conglomerados maciços, ortoconglomerados polimíticos e arenitos conglomeráticos arcoseanos.

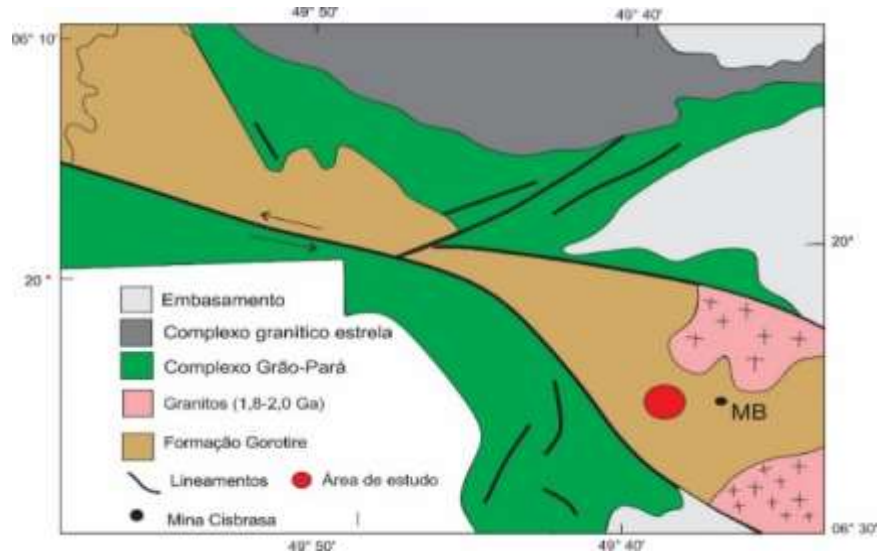


Figura 6- Mapa de localização da Formação Gorotire, próximo ao granito Rancho Alegre.

Essas rochas apresentam cores vermelhas a marrons com estratificações cruzadas acanaladas, estratificações plano-paralelas, inclinadas com ângulos de  $5^{\circ}$  a  $7^{\circ}$  (subparalelas), e estruturação maciça. As lâminas delgadas foram originadas a partir das fácies com estratificações cruzadas acanaladas, acamamento maciço, inclinado e conglomeráticas maciças (Fig.07).

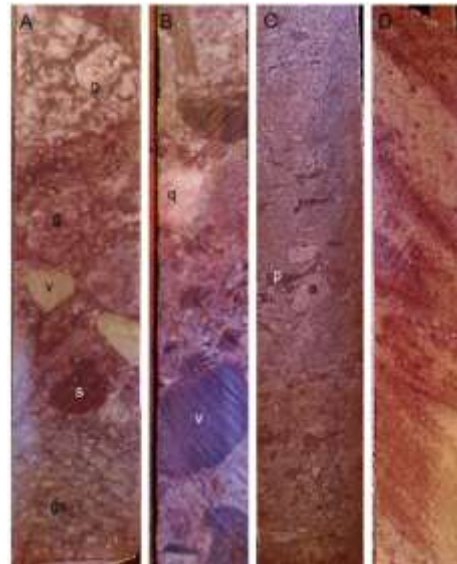


Figura 7- Aspectos faciológicos da Formação Gorotire no testemunho FD 162 com destaque para o contato concordante com a Formação Carajás perfil do furo Sequência 5 da sucessão sedimentar do Bloco Carajás, inserida no topo do Grupo Águas Claras, interpretada como depósitos fluviais entrelaçados distais. A) Arenito médio a grosso com estratificação cruzada tabular. B) Arenito médio a grosso com segregação granulométrica nos *foresets*, observada em seção delgada (C). D) Aspecto textural dos arenitos com grãos arredondados e subarredondados com desenvolvimento expressivo de sobrecrecimentos de quartzo marcados por linha de sujeira.

As amostras são texturalmente e composicionalmente imaturas com granulometria areia média a grossa, com grãos subangulosos a angulosos, pobremente selecionadas. Predominantemente feldspáticas e conglomeráticas. O arcabouço é fechado, onde predominam contatos côncavo-convexo, pontuais e retos, estes dois últimos menos abundantes. Os fragmentos de rocha encontrados serão abordados no tópico seguinte a este, para determinação de todos os tipos presentes na Formação Gorotire.

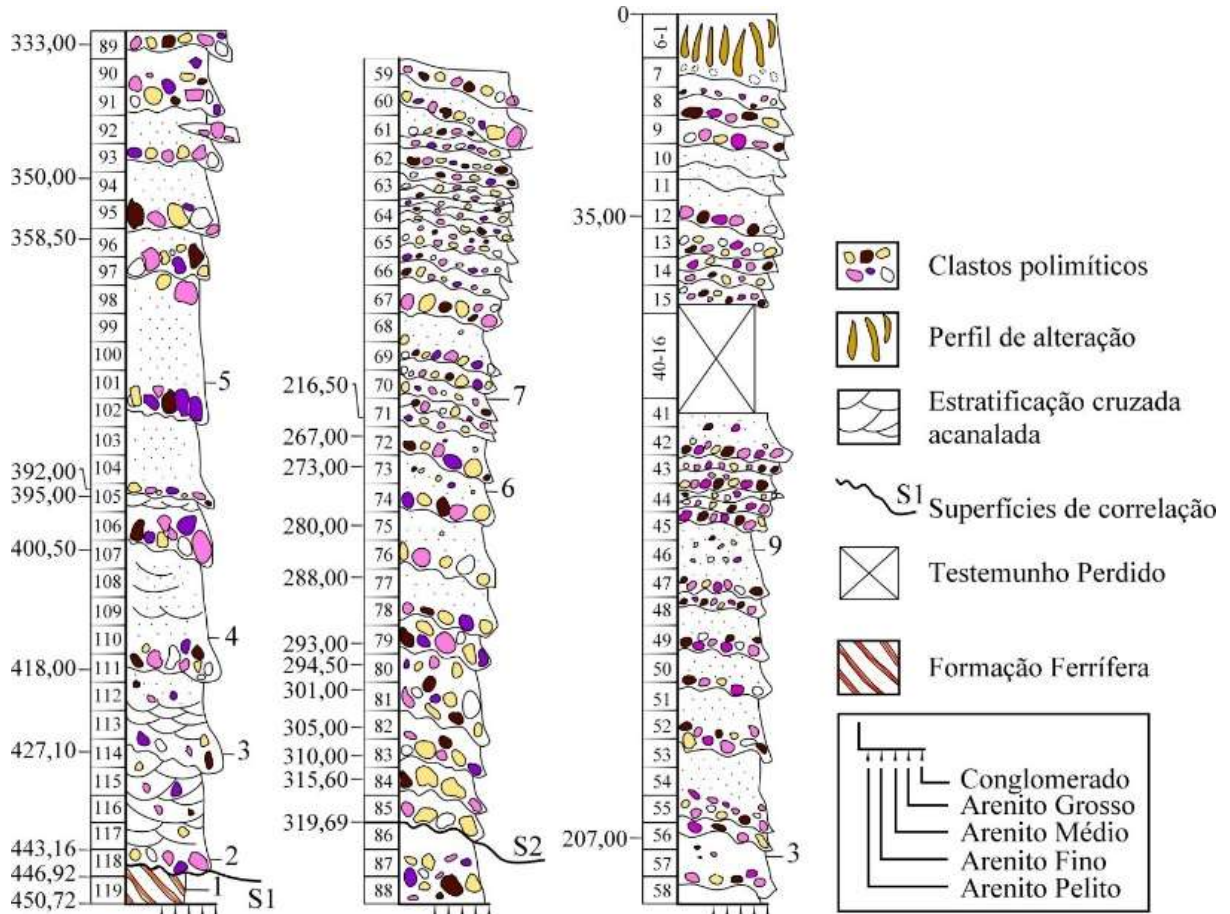


Figura 8- Perfil estratigráfico da Formação Gorotire (MesoProterozoico?) no testemunho FD162. Os testemunhos do intervalo que inclui as caixas 40 a 16 não foram encontrados. Observar o espaçamento entre as camadas de conglomerado e arenitos denotando ciclos com maior e menor aporte de siliciclásticos grossos. A Formação Gorotire pode ser subdividida em pelos menos duas sucessões separadas por superfícies de discordância erosiva com a Formação Carajás (BIF).

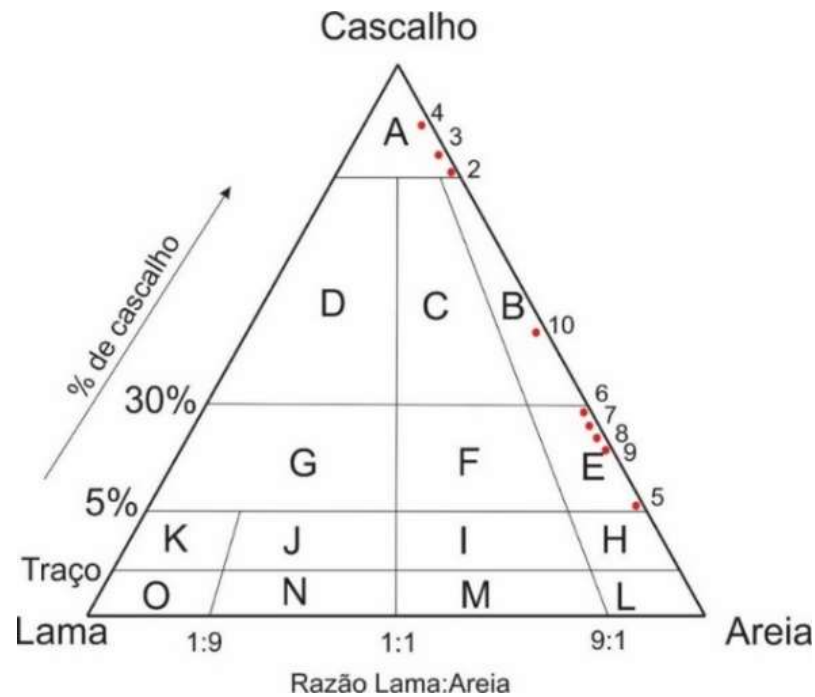


Figura 9- Classificação das rochas d Formação Gorotire com base nos parâmetros de Folk 1954, onde é usada a quantidade de Lama, areia e cascalho para determinar o nome da rocha.

## 8. TABELA FACIOLÓGICA

Neste trabalho foram descritas quatro fácies sedimentares (Quadro 2), que resultou em uma associação de canais fluviais entrelaçados proximais.

Quadro 2- Tabela de fácies referente a Formação Gorotire.

Ortoconglomerado feldspático com estratificação cruzada acanalada	Oa	Rocha de cor marrom avermelhada de granulometria areia grossa com estratificação cruzada acanalada. Apresenta, também, clastos orientados, estratos maciços e com matriz arenosa de granulometria areia grossa.	Migração de formas de leito com crista sinuosa (3D) sob ação de correntes unidirecionais em regime de fluxo superior.
-------------------------------------------------------------------	----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Arenito conglomerático arcoseano maciço</p>	<p>ACm</p>	<p>Rocha de cor marrom clara de granulometria areia média a areia grossa com grânulos de até 2 mm. Apresenta acamamento maciço.</p>	<p>Inundações (<i>sheetflows</i>) gerando fluxos hiperconcentrados, que sobrepostos aos conglomerados polimíticos, depositam-se por diminuição da força ou energia do fluxo desconfinado</p>
<p>Arenito conglomerático com acamamento inclinado</p>	<p>Aci</p>	<p>Rocha de cor marrom clara de granulometria areia média a grossa com grânulos (1,5 mm) dispersos no arcabouço. Apresenta acamamento inclinado com 5 graus de mergulho.</p>	<p>Migração de formas de leito plana sob regime de fluxo superior e unidirecional.</p>
<p>Arenito conglomerático acamamento plano-paralelo</p>	<p>Aapp</p>	<p>Rocha de coloração esbranquiçada de granulometria areia média a grossa com grânulos (1,0 mm) dispersos no arcabouço. Apresenta acamamento plano-paralelo.</p>	<p>Desaceleração dos fluxos contínuos (<i>streamfloods</i>) e/ou possibilidade de inundações esporádicas (<i>sheetflows</i>) com caráter radial depositando cascalhos e areia de granulometria areia média a grossa.</p>

## 9 DESCRIÇÃO FACCIOLÓGICA

### Composição Detrítica

O constituinte mais abundante é o quartzo, com grãos angulosos a subangulosos, representado por quartzo policristalino e quartzo monocristalino. Os primeiros são angulosos a subangulosos, mostrando extinção ondulante moderada a forte e contatos internos suturados.

Já os segundos são subangulosos a subarredondados com extinção ondulante fraca ou uniforme (figura 10.a/10.b). Ambos apresentam contatos retos e côncavo-convexo entre si (predominando) e contatos côncavo-convexo com os grãos de feldspatos.

Os grãos de feldspato são angulosos a subangulosos, representado por grãos de plagioclásio e microclina. Os plagioclásios apresentam maclas polissintéticas, enquanto as micriclinas têm um padrão de maclamento xadrez (figura 10.c/10.d). Os grãos estão bastante saussurizados principalmente nos planos das maclas, mostrando a cor verde característico de epidotos em luz natural. Estes constituintes exibem textura reliquiar caracterizada como intercrescimento pertítico (figura 10.f) e intercrescimento mimerquítico (figura 10.e). Apresentam bordas dissolvidas, por vezes em forma de embaiamento, além de grãos deformados com extinção ondulante e bastante fraturados.

Os fragmentos de rocha são representados por pseudomatriz e fragmentos metamórficos, que são quartzos policristalinos bastante orientados e com extinção ondulante forte e contatos internos suturados (figura 12.j). Existem fragmentos de rocha ígnea granítica com textura porfirítica, argilitos com até 3,0 a 6,0 mm, anfibolitos (< 1%), compostos por plagioclásio epidotizado e anfibólios de hápitos prismático alongado com extinção reta, quartzitos (1,0 mm – 3,0 mm) com recristalização e contatos suturados internamente, xistos (5,0 mm) de granulação fina e com orientação de minerais micáceos incolores (muscovitas) e grãos de chert (figura 12) .

Os tipos de cimento presentes são óxido de ferro que formam películas (*coatings*) ao redor dos grãos, preenchendo poros móldicos de feldspatos que passaram por dissolução; e cimento sílica proveniente da dissolução de grãos de quartzo e de feldspatos que fazem o arcabouço da rocha ser bastante compacto e ter maior dureza (figura 11).

Não foi evidenciada a presença de porosidade primária devido a intensidade da compactação durante a diagênese e pela própria constituição da rocha, composta predominantemente por quartzo e feldspatos, já a porosidade secundária foi formada, porém preenchida por cimentação de óxido de ferro.

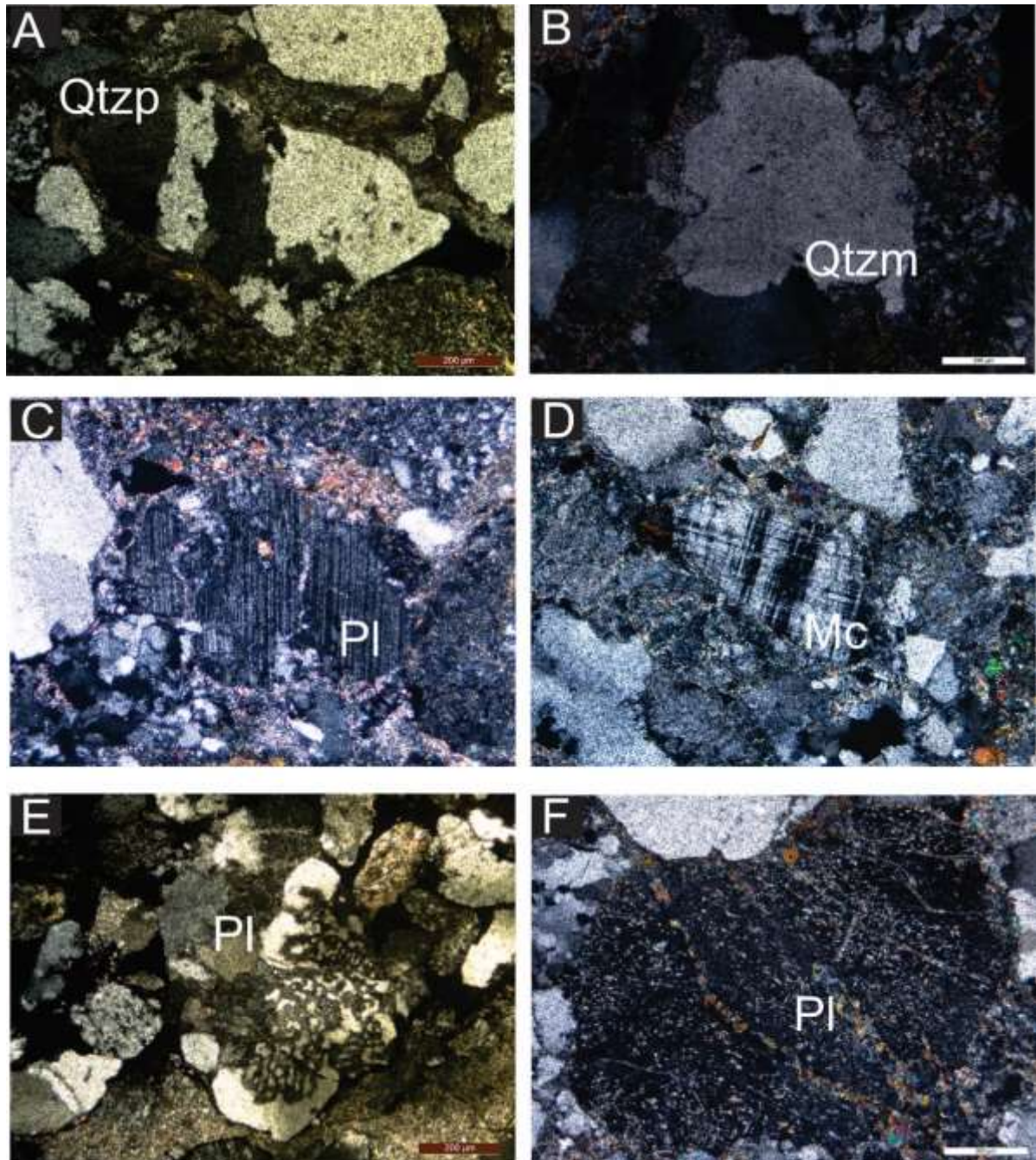


Figura 10: Fotomicrografia dos grãos de feldspato. A) Grão de quartzo policristalino com extinção ondulante com contatos suturados e B) Grão de quartzo monocristalino com extinção uniforme. C) Grão de plagioclásio sericitizado com maclamento albíta bem preservado D) Grão de microclina com maclamento xadrez e bordas dissolvidas formando embaiamentos. E) Grão de plagioclásio com textura reliquiar minerquítica formada por quartzo vermiforme nas bordas e F) Grãos de plagioclásio com textura reliquiar pertítica, onde é possível ver o plagioclásio albíta intercrescido. Os grãos se encontram moderadamente a bem fraturados. Notar os constituintes diagenéticos como cimentação de oxihidróxido de Fe e alteração de feldspatos para argilominerais, formando pseudomatríz (Ps) esmagada entre os grãos mais resistentes.

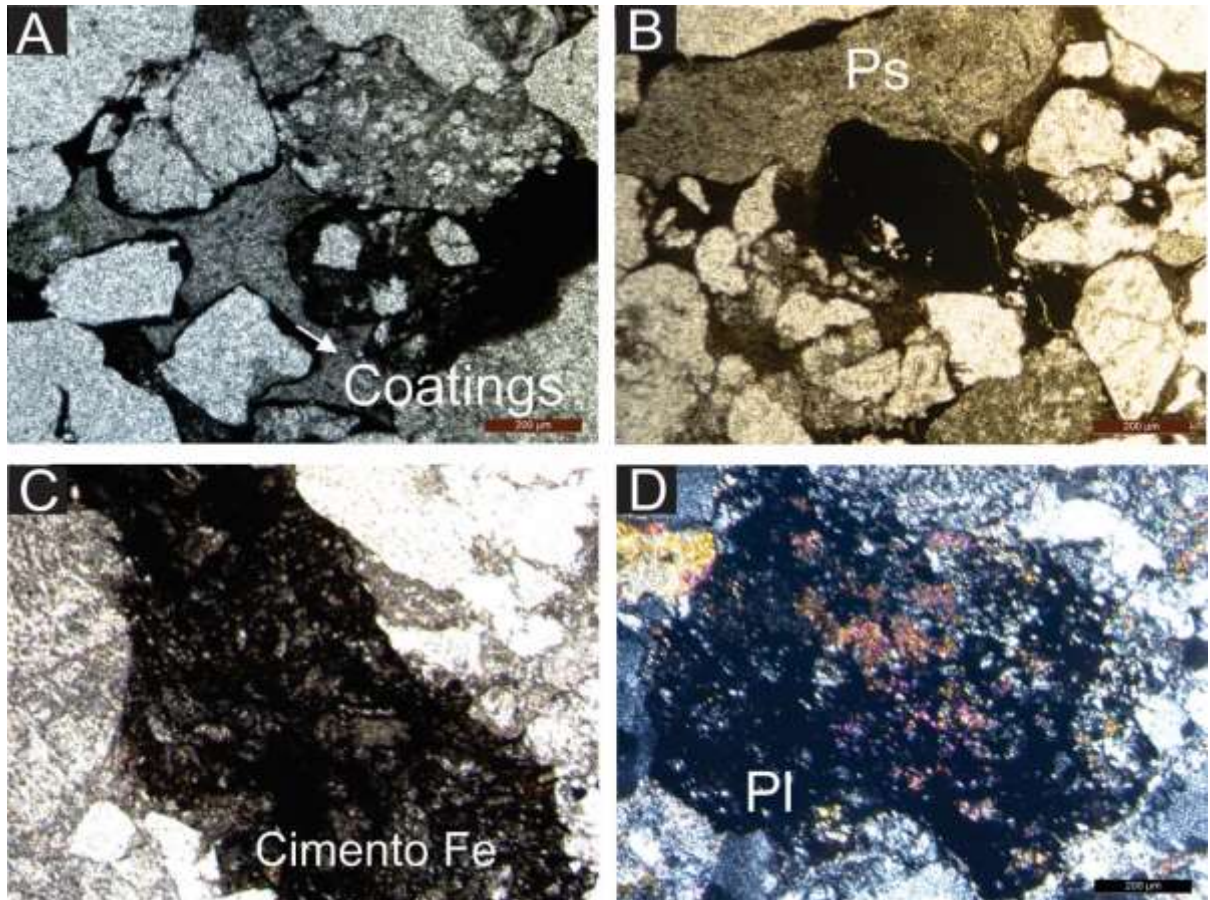


Figura 11: Fotomicrografia dos constituintes diagenéticos da Formação grotire. A) detalhe para os coatings de oxi-hidróxido de Ferro. B) Pseudomatriz (Ps) esmaga entre os grãos mais resistentes como quartzo. C) Cimentação de oxi-hidróxido de Ferro com ocorrência facilitada por fraturas na rocha. D) Grão de plagioclásio sendo dissolvido e substituído por oxi-hidróxido de Fe, preenchendo a porosidade secundária.

## 9. FRAGMENTOS DE ROCHA E PROVENIÊNCIA DOS SEDIMENTOS

Os fragmentos de rocha disponíveis são de origem ígnea, metamórfica e sedimentar. Ocorrem quartzos policristalinos metamórficos orientados internamente, quartzitos, xistos, granitos, fragmentos de rocha ígnea com textura reliquiar, argilitos, pseudomatriz e arenitos.

Fica bem evidente que a composição desses depósitos contém sedimentos de rocha que têm uma longa trajetória geológica. Há os de origem metamórfica que representam granitoides neoarqueanos da Província Carajás, sequências metassedimentares (xistos e quartzito), e rochas sedimentares (argilito e arenito). É possível inferir que existiam blocos do embasamento bordejados por faixas de oceanos que depositaram sequências sedimentares, que metamorfizaram regionalmente e propiciaram a deposição de sedimentos que formaram a cobertura dessas rochas.

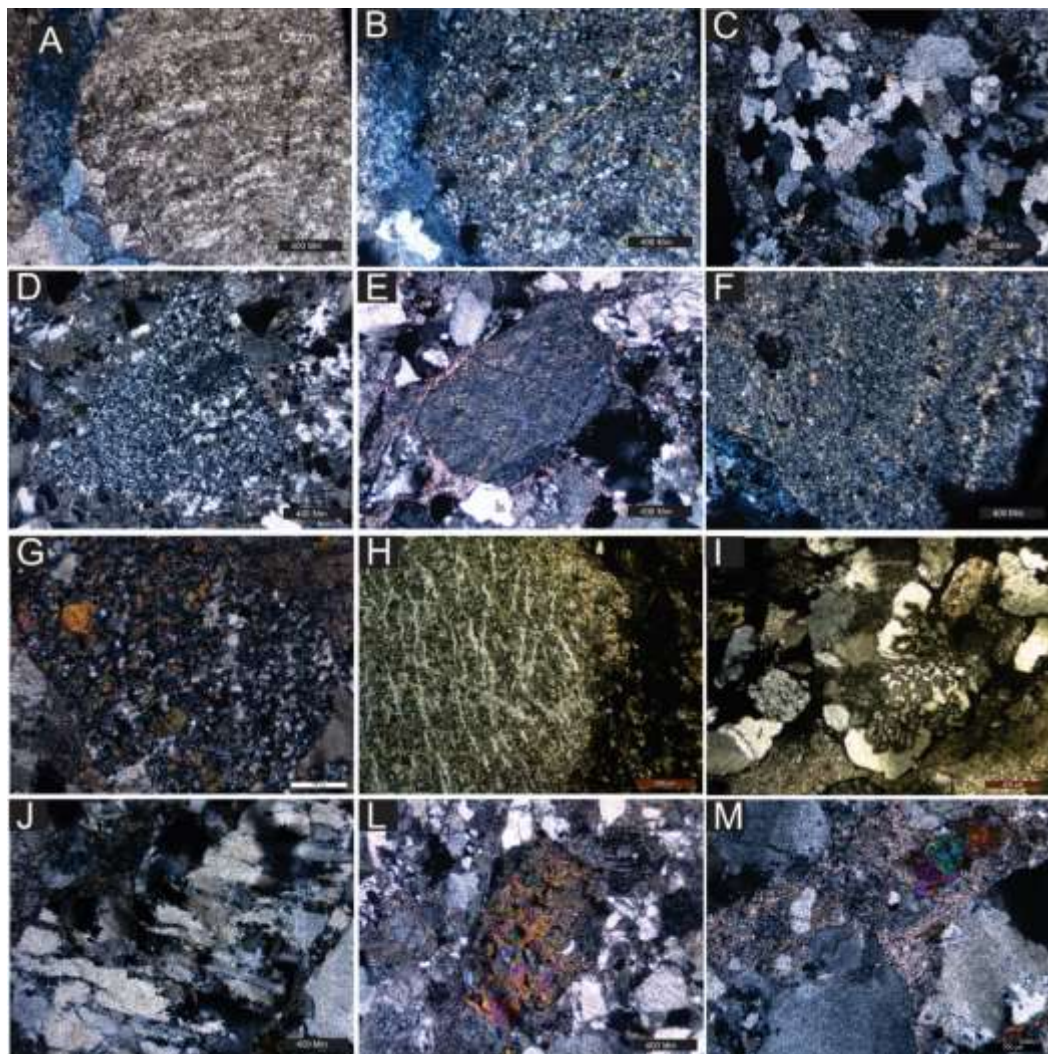


Figura 12- Fotomicrografias dos fragmentos de rocha presentes na Formação Gorotire. A e B) Grão de xisto com textura lepidoblástica preservada, causada por metamorfismo; c) Grão de quartzito com grãos recrystalizados em

com contatos internos suturados; D) Fragmento de chert. Detalhe para granulometria muito fina; E) Fragmento de argilito; F) Fragmento de argilito. Detalhe para granulação fina.; G) Fragmento de rocha granítica de composição ácida, arredondado, o que indica transporte da área fonte, provável fragmento do Granito Rancho Alegre; H) Fragmento de rocha ígnea. Plagioclásio com textura reliquiar de intercrescimento pertúrtico; J) Fragmento de rocha metamórfica com grãos internos suturados e bastante orientados, além de extinção ondulante, resultado da deformação; L) Fragmento de anfibolito. Reparar nos minerais com hábito espicular (anfíbólios) e minerais saussuríticos (plagioclásios); M) Pseudomatriz, resultado da alteração dos grãos de feldspato.

A técnica de catodoluminescência pode oferecer uma maior segurança em relação a proveniência de grãos de quartzo, indicando a possível área fonte. Os grãos de quartzo normalmente, são modificados no transporte da área fonte até o sítio deposicional (Augustsson, 2003). Entretanto, a partir da maturidade da rocha e o fato de a Formação Gorotire ter como ambiente deposicional um sistema de canais entrelaçados proximais, é possível inferir a área fonte com mais segurança, pois estes não tiveram um grande transporte entre a fonte e o sítio deposicional.

As cores em catodoluminescência em grãos de quartzo são apresentadas por Augustsson (2003), e a cor que os grãos da Formação Gorotire assume é azul bastante escura. Como os grãos de quartzo podem ser usados como indicadores de origem, e assumindo que a cor em catodoluminescência, permanece inalterada a partir dessa fonte, podemos interpretar a cor dos grãos da Formação Gorotire como de fonte metamórfica. Segundo Augustsson (2003), grãos provenientes de fontes metamórficas possuem cor azul bem escura.

Desde o trabalho pioneiro de Zinkernagel em 1978, diversos autores vêm estudando a técnica de catodoluminescência e associando as cores a um determinado tipo de rocha fonte e nem sempre esses dados convergem. Porém Boggs (2006) mostra alguns dados que convergem dentre os autores. Segundo as pesquisas os grãos da Formação Gorotire estão inseridos na cor azul a violeta, como mostra a tabela 04.

Quadro 2- Tabela com o tipo de rocha fonte dos sedimentos e suas respectivas cores através do método de catodoluminescência (Boggs 2006).

Cor	Origem
Azul a violeta	Plutônica, fenocristais de rochas vulcânicas; quartzos de rocha; rochas metamórficas de alto grau
Vermelho	Matriz de rocha vulcânica
Marrom	Rochas metamorfizadas regionalmente
Sem luminescência	Quartzo autigênico
Verde/azul fraco	Quartzo hidrotermal

É importante destacar que essa ferramenta, como indicador de proveniência de sedimentos, pode não ter tanta eficiência, pois os grãos de quartzo podem adquirir cores

parecidas sob condições diferentes (Boggs, 2006). Por exemplo no trabalho de Augustsson (2012), foram analisadas mais de mil amostras de rochas plutônicas, hidrotermais, vulcânicas e metamórficas. De acordo com as cores obtidas para os grãos da Formação Gorotire, esse resultado colocaria como fonte dos sedimentos rochas metamorfizadas em baixo grau, as quais têm cor marrom escura a azul bem escura (Fig.13).

O que pode fazer surgir essa diferença nas cores obtidas na catodoluminescência em grãos de origem metamórfica é o grau de metamorfismo pelo qual a rocha fonte passou (Augustsson, 2012). Como as cores dos grãos de quartzo da Formação Gorotire possuem a mesma cor (azul escuro a violeta escuro) é possível inferir que a fonte desses sedimentos é uma só. Essa fonte seriam os granitóides arqueanos, composto majoritariamente por rochas de composição TTG. O resultado corrobora o que os estudos de Boggs (2006) apresentam, usando duas técnicas para determinar a proveniência: HCMA e catodoluminescência.

Bernet & Bassett (2014), chegaram a conclusão de que grãos de quartzo provenientes de rochas de alto grau metamórfico mostram cores cinza escuro. O quartzo recristalizado pode mostrar feições em mosaicos poligonais, além da perda de texturas primárias como zoneamento, microfraturas e lamelas de deformação. Esse é o caso dos grãos da Formação Gorotire.

Com relação aos feldspatos da Formação Gorotire, o que predomina são os de composição albita, porém ocorrem feldspatos potássicos, predominado a microclina. Nas imagens é possível notar que os feldspatos possuem cor azul clara brilhante e alguns chegam a cor marrom clara. Segundo os estudos de Boggs (2006) essas cores são determinadas por defeitos intrínsecos na estrutura destes. Essas cores ainda não determinam uma proveniência do sedimento, pois os estudos ainda estão avançando (Boggs 2006, Bernet & Bassett 2014).

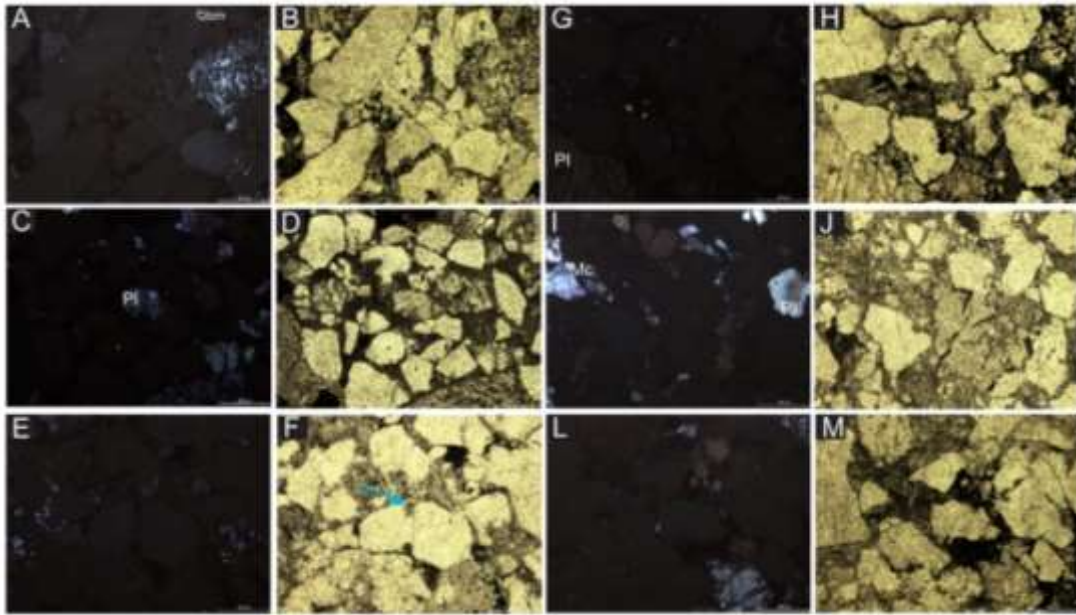


Figura 13- Fotomicrografias dos grãos de quartzo com respectivas cores obtidas através do método de catodoluminescência. Na direita os nicóis estão descruzados; à esquerda os nicóis estão cruzados. A, B, C e D) cores azul escura dos grãos de quartzo e azul brilhante claro dos grãos de plagioclásio; E e F) Detalhe para os grãos em forma de mosaicos poligonais, indicados pela seta azul, característico de alto grau metamórfico; G e H) Detalhe para os grãos de plagioclásio com cores marrom escura; I e J) Detalhe para os grãos de feldspato com cores azul brilhante claro; L e M) Grãos de quartzo com cores cinza escura. As especificações de Kv,tempo de exposição e amperagem são as seguintes: A,B) Kv- 28; Texp 72,9 s-; Amp- 220 v.C,D ) Kv- 23; Texp- 72,9 s; Amp- 202 v.E,F ) Kv-26; Texp- 70 s; Amp- 204 v. G,H) Kv- 24; Texp- 69,1 s; Amp- 244 v. I,J) Kv- 22; Texp- 72,6 s; Amp- 220 v. L,M ) Kv- 170; Texp- 76,2; Amp- 192 v.

Os grãos de arenitos refletem a proveniência dos diferentes terrenos tectônicos, além de outros fatores sedimentológicos que influenciam em sua composição. A composição dos arenitos da Formação Gorotire reflete não apenas sua proveniência, mas a trajetória de formação da bacia relacionada (Dicknson, 1985). De acordo com o diagrama os sedimentos provêm de bloco continental, orogenos reciclados e arco magmático, predominando esse último como fonte dos sedimentos da unidade estudada (Fig.14).

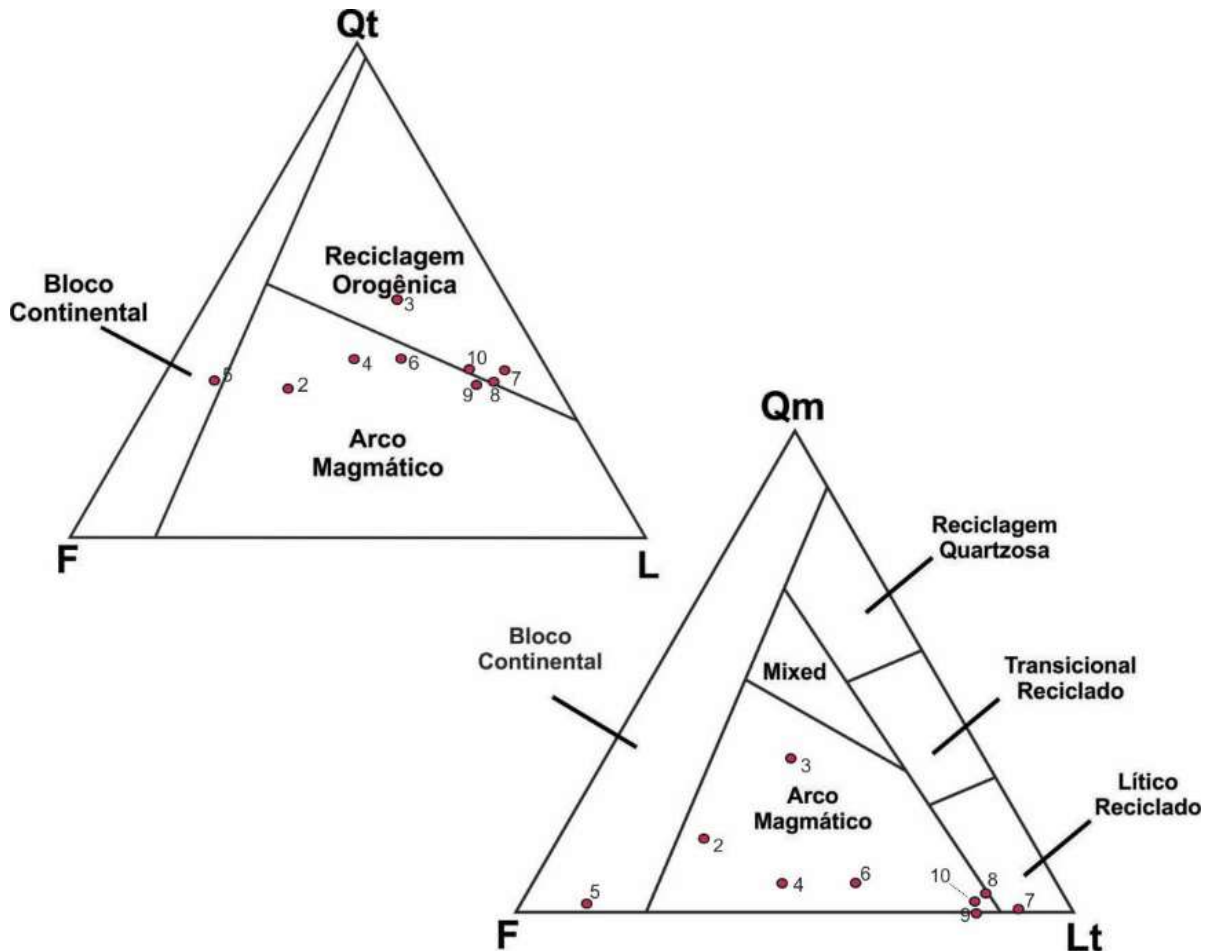


Figura 14: Campos composicionais indicando a origem dos sedimentos, relacionando-os a ambientes tectônicos distintos (Dickson, 1985). Para os arenitos e conglomerados a proveniência predomina no campo de arcos magmáticos.

## 10. ANÁLISE FACIOLÓGICA

A análise faciológica interpretada através dos testemunhos de sondagem permitiu a determinação de fácies deposicionais que foram associadas em paleoambiente de canais fluviais entrelaçados proximais.

As fácies foram associadas conforme suas estruturas, granulometria, seleção e arredondamento dos grãos. Em seguida esse paleoambiente será descrito através de blocos-diagramas explicativos e compostos por meio do perfil estratigráfico da Formação Gorotire.

### A) ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES DE CANAIS FLUVIAIS ENTRELÇADOS PROXIMAIS

Neste paleoambiente foram descritas quatro fácies: 1) Ortoconglomerado feldspático com estratificação cruzada acanalada (Ca); 2) Arenito conglomerático arcoseano maciço

(ACm); 3) Arenito conglomerático com acamamento inclinado (Aci); 4) Arenito conglomerático acamamento plano-paralelo (Aapp)

Esta associação é composta por conglomerados clasto-suportados, porém com porções matriz -suportadas (paraconglomerados). Os clastos estão em contatos pontuais, mal selecionados dispostos em camadas de cinco a 30 metros; Arenitos médios a grossos maciços e subordinadamente estratificação plano-paralela, porém não descrita em petrografia), ocorrendo sobrepostos aos ortoconglomerados, formando pacotes com espessura de 4,0 a 12 metros.

Os ortoconglomerados na base do perfil gradam para arenitos conglomeráticos médios a grossos com estratificação plano-paralela e maciça, que formam perfis granodecrescente ascendentes, marcados por superfícies erosivas onduladas (Fig.8), as quais marcam a atuação de correntes unidirecionais turbulentas de alta energia.

Os litotipos desta associação são interpretados como depósitos formados fluxo de detritos com sistemas fluviais, próximos a área fonte, nos quais o rio que ocorre entre os *canyons* ou regiões montanhosas está confinado até atingir os planos aluviais. Assim que ocorre a dispersão em áreas pouco inclinadas, há deposição de cascalhos, a partir do apex, originando barras arenosas, características de canais entrelaçados (Nichols, 2009; Blissenbach, 1964).

A gradação entre frações conglomeráticas e arenosa ocorre pela diminuição da velocidade do fluxo que deposita os sedimentos de granulometria areia média (0,2 mm) a grossa (1,0 mm) em camadas maciças, como evidenciado pelo diagrama de diâmetro da partícula (mm) versus velocidade do fluxo (% V) (Fig.15). Este fluxo de caráter superior promove a deposição de areia média a grossa, além de grânulos de até 2 mm, pois o fluxo desacelera. As camadas podem ter sido depositadas paralelas e obliteradas por processo de fluidificação (Tucker 2001, Nichols 2009).

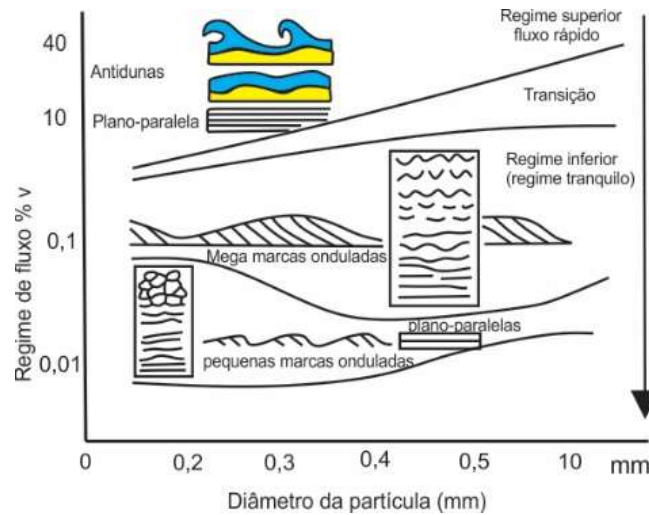


Figura 15- Diagrama de regime de fluxo versus o diâmetro da partícula. Repara o regime de fluxo superior no qual se depositaram as partículas de granulometria areia média a grossa (entre 0,1 mm – 1,0 mm) da Formação Gorotire.

A estruturação maciça é formada por correntes de turbidez, gerada no canal com fluxo contínuo (*streamflood*), em que os grãos ficam em suspensão devido a turbulência do fluxo e colisão (figura 15). Assim que o fluxo perde força e velocidade forma-se uma sequência parecida com a de *Bouma*, onde os materiais grosseiros são depositados na base enquanto os materiais finos ficam restritos ao topo (Collinson & Thompson 1989).

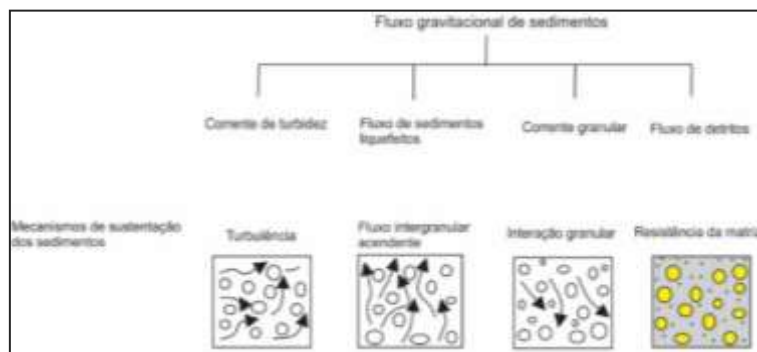


Figura 16- Principais tipos de fluxos gravitacionais subaquosos de sedimentos, em relação aos mecanismos de sustentação destes. Nestes movimentos de interação água x sedimento formam-se essas estruturas. Fonte: Modificado de Middleton & Hampton (1974)

A fácies Ca é formada devido a migração de formas de leito com crista sinuosa (3D) sob ação de correntes unidirecionais em regime de fluxo superior. Se forma em porções mais proximais a intermediárias, no início da canalização, comparado a fácies arenosas acima (Fig.8) (Nichols 2009, Collinson & Thompson 1989).

O ambiente fluvial entrelaçado possui alta variabilidade na descarga do fluxo e alto suprimento sedimentar, com sedimentos transportados durante períodos de alta descarga, depositados sob formas de barras arenosa, e durante período de diminuição de da velocidade

do fluxo, onde se depositam sedimentos arenosos médios a grossos quando o fluxo desacelera (Della Fávera 2001, Nichols 2009).

## 11. EVENTOS DIAGENÉTICOS

A diagênese explanará sobre os eventos pós deposicionais, os quais podem mudar a textura e a composição do litotipo (Boggs, 2009; Morad *et al*, 2010). Os eventos descritos a seguir foram feitos através da análise de lâminas petrográficas, difração de Raio X e das texturas diagenéticas presentes na rocha. Os eventos diagenéticos descritos a seguir são controlados pelas condições do ambiente deposicional, soterramento e infiltração de fluidos em uma região com influência tectônica.

Quadro 3- Eventos diagenéticos da Formação Gorotire, interpretados de acordo com as feições texturais em lâmina petrográficas.

Processos	Eodiagênese	Mesodiagênese	Telodiagênese
Compactação mecânica	.....		
Compactação química		.....	
Porosidade secundária		.....	
Cimentação de Fe		.....	
Cimentação de sílica		.....	
Diminuição da porosidade secundária devido à cimentação		.....	
Dissolução dos cimentos			.....
Faturamento pós deposicional			.....

### 13.1 EODIAGÊNESE

Durante o processo de soterramento os grãos do arcabouço respondem a crescente pressão litostática de três formas: rotação e empacotamento de grãos, deformação de grãos dúcteis e fraturamento de grãos rígidos (Nobrega 2003)

Nesse estágio há o início da alteração dos grãos de feldspatos para argilominerais, formando pseudomatriz e avanço da diminuição da porosidade primária. A formação desse último componente começa na eodiagênese e avança até a final da mesodiagênese (Tucker 2001).

Com o avanço da compactação mecânica ocorre o fraturamentos dos grãos de feldspato e quartzo e deformação de grãos de micas (Muscovitas) encurvadas e deformação dos planos de maclas dos feldspatos, entre grãos mais resistentes (Fig.29A.29B).

Ainda pode ocorrer a cimentação precoce de oxidohidróxido de Fe, formando películas (*coatings*) ao redor dos grãos.

### 13.2 MESODIAGÊNESE

Com o avanço do soterramento, aumento da temperatura e pressão ocorre a cimentação de sílica, com a dissolução dos próprios grãos de quartzo, alteração de argilominerais e inserção de fluidos por hidrotermalismo (oriundos do granito Rancho Alegre) a partir do fraturamento da rocha, evento relacionado a reativações no final da Falha Carajás.

Este falhamento insere fluidos que ajudam a alterar os feldspatos, menos estáveis, de maneira eficiente nos 400 m de espessura da Formação Gorotire. Esses fluidos fazem com que ocorram veios de clorita e epidoto, além de trazerem, juntamente água e sílica ao sistema, que gera, também uma cimentação silicosa no arcabouço (Fig.29E,29F)

Concomitantemente é inserida a cimentação de oxidohidróxido de Fe, com estes íons tendo fonte a partir da dissolução das Formações Ferríferas Bandadas da Formação Carajás.

A compactação química, por processos de dissolução por pressão, ainda gera contatos côncavo-convexo e localmente suturados entre os grãos de quartzo e feldspatos (Fig. 29C,29D), o que gera suprimento para a cimentação da rocha. Essa pressão é gerada pela pressão litostática, principalmente no contato entre os grãos (Nobrega 2003, Morad *et al.* 2010). A dissolução dos feldspatos gerando a porosidade pode estar relacionada ao metamorfismo dinâmico, gerado nas reativações de falhas, além de intrusões ígneas, os quais introduzem fluidos hidrotermais ricos em CO<sub>2</sub>. Esses fluidos ascendem através de falhamento e fraturas na Formação Gorotire.

Os feldspatos e quartzos apresentam bordas dissolvidas e textura de embaiamento (Fig.29E). A cimentação de oxidohidróxido de Fe ainda preenche a porosidade secundária intragranular gerada a partir da dissolução, principalmente dos feldspatos, por oxidohidróxidos de Fe (Fig.29G).

Esses processos químicos tomam lugar com a entrada de água (pode acompanhar diferentes valores de salinidade, Ph, Eh), na rocha, por isso tais processos são dependentes da porosidade da rocha. Como as rochas da Formação Gorotire são bem compactadas e cimentadas por sílica e pouco porosas é possível inferir que o falhamento dessa unidade foi de extrema importância para que fluidos entrassem no sistema (Tucker 2001).

### 13.3 TELODIAGÊNESE

Esse estágio se refere a processos diagenéticos que ocorrem devido ao soergimento de blocos. Ocorre a perda da porosidade secundária que é preenchida por cimentação química e silicosa. A dissolução desses cimentos pode também fazer com que ocorra o surgimento de porosidade. Por último ocorre o fraturamento dos litotipos devido ao soergimento atuante.

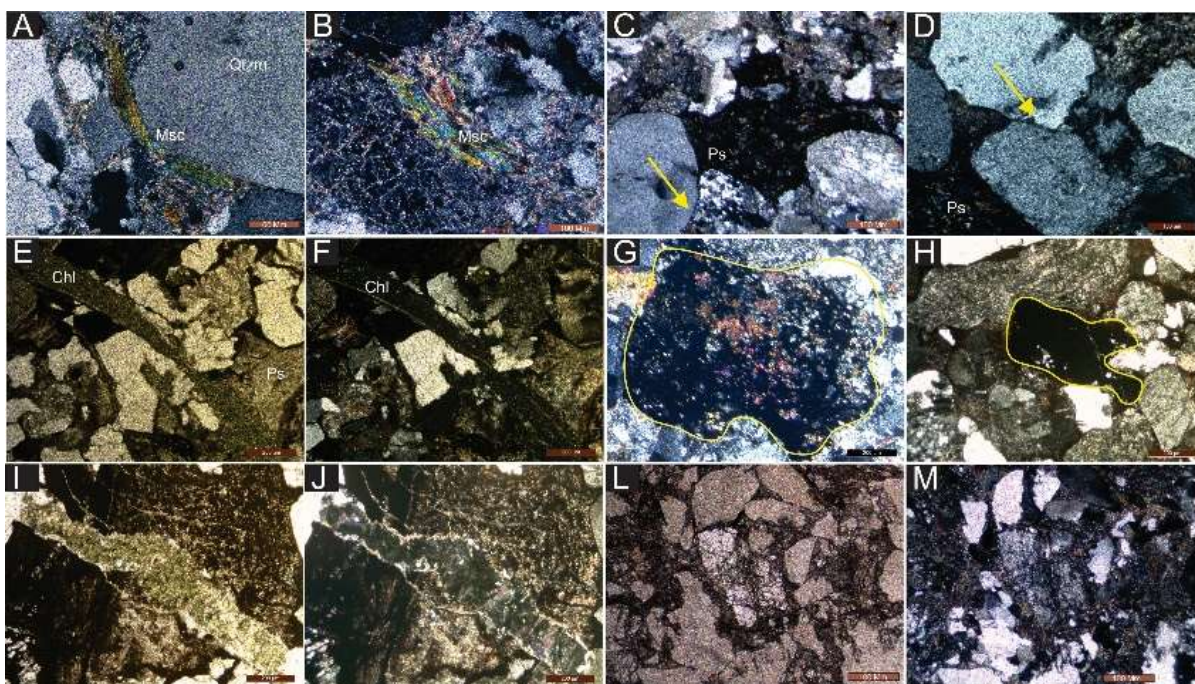


Figura 17:-Fotomicrografia dos eventos diagenéticos. A e B) Grãos de mica contorcida, característica dos primeiros estágios diagenéticos, com a compactação mecânica; C e D) Contatos côncavo-convexo entre grãos de plagioclásio e quartzo, indicados pelas setas amarelas. Gerados por pressão de dissolução; E, F, I e J) Cloritização, que ocorre durante a diagênese e depois desta, evidenciado pela relação com a pseudomatriz; G e H) Poros móldicos de plagioclásio substituído por oxihidróxido de Fe, indicados pela cor amarela; L e M) Formação da pseudomatriz a partir dos feldspatos formando minerais autigênicos.

## 12. MODELO DEPOSICIONAL E EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

A deposição de fácies de canais fluviais, ocorreu em áreas próximas a fonte, que podem ser áreas soergidas por tectonismo. Essa deposição foi sintectônica e de caráter extensional, pois é possível ver em lâmina petrográfica microfalhamentos normais. É interessante notar que esses depósitos são caracterizados por canais entrelaçados, com grande aporte sedimentar, aliado a superfícies íngremes, onde atuam movimentos gravitacionais, além da atuação do clima, este como fator importante na formação das diferentes estruturas.

Através dos dados obtidos da difração de raio X, é possível notar cloritização associada (Fig.17), o que pode indicar influência de corpos graníticos ao redor, além de metamorfismo de baixo grau gravado na Formação Carajás, que pode se associar a momentos finais da

formação desses falhamentos. Os fluidos hidrotermais gerados podem estar associados ao Granito Rancho Alegre de idade arqueana, injetando fluidos e cominuindo os componentes detiríticos nos arenitos da Formação Gorotire de idade paleoproterozóica superior (Fig.18).

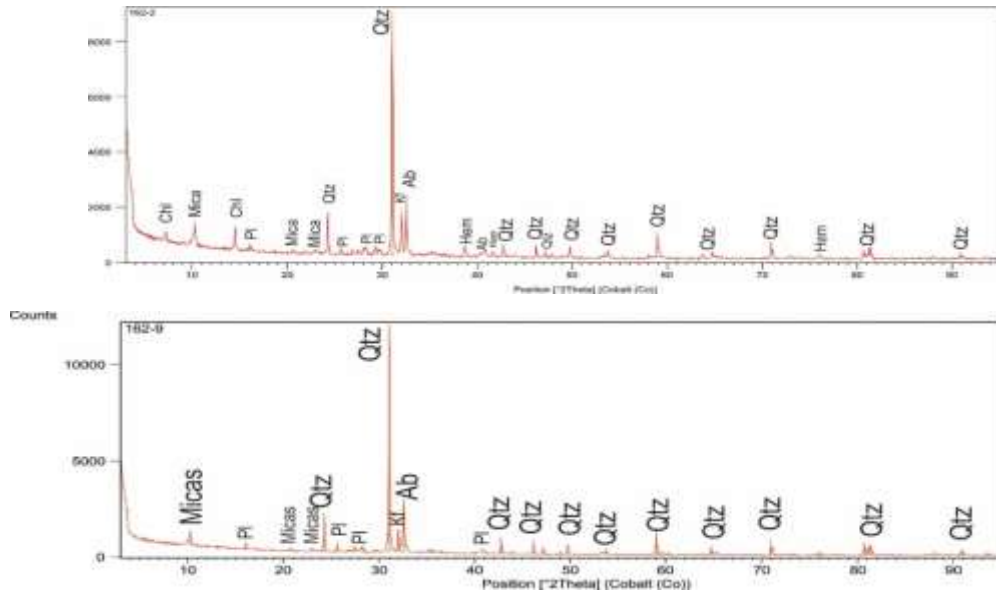


Figura 18- Análises de Raio-X, provenientes das amostras da Formação Gorotire. Detalhe Para cloritização, grande presença de micas e feldspatos potássicos. Kf-Feldspato potássico.

Nas lâminas delgadas foi possível identificar fragmentos de granitos de composição ácida (Pl+Qtz+mica+op), com provável fonte desse granito. Além disso foram encontrados fragmentos de gnaisses, originados dos granitos deformados do neoarqueano, o que ajuda a inferir que a deposição da Formação Gorotire se deu no Proterozóico médio a superior.

Nas rochas estudadas há evidência de movimentação por falhamntos normais, tanto nos BIFs da Formação Carajás como nos arenitos da Formação Gorotire, o que indica que essa unidade foi depositada entre o paleoproterozóico superior e médio.

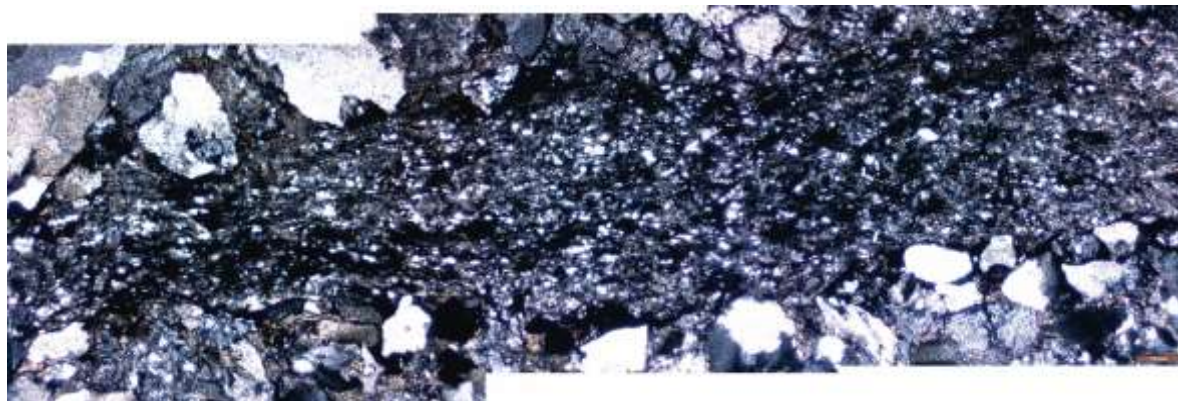


Figura 19- Cominuição dos grãos detríticos da Formação Gorotire, através do metamorfismo dinâmico relacionado a Falha Carajás.

A tectônica menos ativa é evidenciada pelos pacotes menos espessos de conglomerados com estratificação cruzada acanalada, variando de centímetros a oito metros. Tal característica aponta a predominância de processos de fluxos gravitacionais formado os conglomerados que se depositam na base do canal, alternando-se períodos que inseriam água no sistema periodicamente, formando pacotes de arenitos de granulometria média a grossas gerados por inundações (*sheetflows*), pois não há formação de outras estruturas sedimentares, além da maciça, inclinada (esta devido a superfície íngreme) e plano-paralela.

Os depósitos fluviais, no contexto da Província Mineral Carajás, estão relacionados a movimentos tectônicos, que criaram espaço de acomodação e planícies íngremes, o que facilitava o fluxo de detritos (*debris flow*) e canalização entrelaçada, devido ao grande aporte sedimentar e influxo de água meteórica relacionada a atuação do clima.

O clima, juntamente com a diminuição de uma tectônica mais ativa, atua de maneira importante no aporte de suprimento sedimentar que será depositado posteriormente. A ocorrência de inundações esporádicas predomina na formação desses depósitos, e tais fluxos são de alta energia e pouco tempo de duração (Hogg 1982, Miall, 2006, Nichols, 2009).

A falta de argila deposicional e intempérica se deve à falta de vegetação e sua relação na formação de ácidos e principalmente o fácil assoreamento do solo que carregava detritos e sedimentos no rio confinado, sem dificuldades.

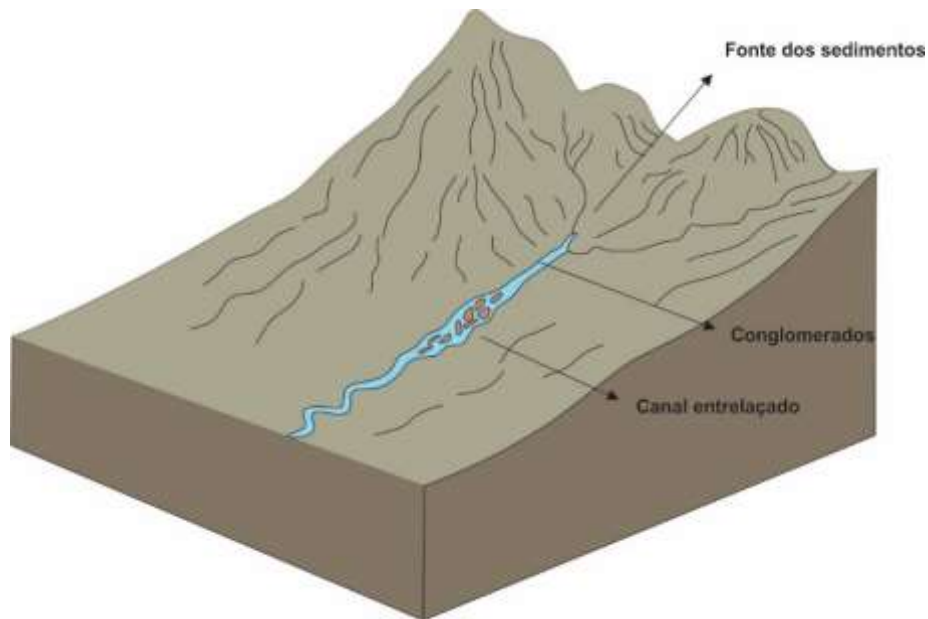


Figura 20- Modelo deposicional da Formação Gorotire, baseado nos estudos de fácies e análises petrográficas detalhadas. Canal fluvial entrelaçado com tectônica ativa extensional que ajuda na origem de aporte sedimentar atuando juntamente com o clima e formando a estruturas abordadas na discussão.

### 13. CONCLUSÕES

A sucessão da Formação Gorotire no Testemunho FD162 embora incompleta (faltam 100 m de espessura do testemunho FD162) alcança cerca de 445m, sendo subdividida em 2 unidades caracterizadas por ciclos granodécrescentes ascendentes (Figura 8). À primeira vista da sucessão da Formação Gorotire parece difícil observar esta subdivisão em unidades, porém verifica-se que os ciclos apresentam diferenças de segregação entre os termos psamíticos e rudáceos, bem como variação na espessura. Por exemplo, os ciclos na unidade basal alcançam até três dezenas de metros diferentemente dos ciclos repetitivos de pouca espessura de até sete metros que caracterizam a unidade superior.

A separação em formações ou membros da Formação Gorotire é uma perspectiva futura se for levado em consideração a litoestratigrafia em combinação com os conceitos de sistemas deposicionais. A unidade basal de aproximadamente 125m sobrepõe bruscamente os depósitos de formação ferrífera bandada da Formação Carajás, formada por até onze ciclos granodécrescentes ascendentes de até 20m de espessura formado por conglomerados e arenitos médios, grossos a conglomeráticos.

Formas de leito de crista sinuosa foram depositadas em regime de fluxo inferior e sugerem canais entrelaçados com dunas subaquosas entre barras cascalhosas longitudinais. Estas fácies foram depositadas em um sistema de canais fluviais entrelaçados, formados bem próximo à fonte. Isso se evidencia pela baixa maturidade da rocha.

## REFERÊNCIAS

- Almeida F.F.M., Hassui Y., Brito Neves B.B., Fuck R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. *In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, Atas...* p. 363-391.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito-Neves B.B, Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Sci. Rev.*, 17: 1-29.
- Almeida J.A.C., Dall'agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**:103–126, Mar.
- Araújo O. J. B. *et al.* 1988. A mega estruturação Arqueana da Folha Serra dos Carajás. *In: 1º Congresso Latinoamericano de Geologia, Belém. Anais...* Belém, p. 324-338.
- Araújo O.J.B.; Maia R.G.N. 1991. *Serra dos Carajás SB.22-Z-A-Estado do Pará*. Programa PLGB, CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, Brasília,DF. 136 p.
- Augustsson C. & Bahlburg H. 2003. Cathodoluminescence spectra of detrital quartz as provenance indicators for paleozoic metasediments in southern Andean Patagonia. *J.S. Am Earth Sci*, **16**:15-26.
- Augustsson C. & Reker A. 2012. Cathodoluminescence spectra of quartz as provenance indicators revisited. *Journal of Sedimentary Research*, v 82, 559-570. (Society for Sedimentary Geology).
- Barbosa O., Ramos J.R.A., Gomes F.A., Hembold R. 1966. *Geologia estratigráfica, estrutural e econômica da área do "Projeto Araguaia"*. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, 94p. il. (Monografia, **19**).
- Barros C.E. de M., Barbey,P., Boullier, A.M. 2001. Role of Magma pressure, tectonic stress and crystallization progress in the emplacement of sintectonic granites. The A-Type Estrela Granite Complex (Carajás Mineral Province, Brazil). *Tectonophysics*, **343**: 93-109.
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P., Scheller T. 2004. Dados isotrópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 34, n.4, p. 351-358.
- Bernet M., Basset K. 2014. Provenance analyses by single-quartz-grain SEM-CL/Optical microscopy. Research methods papers. *Journal of Sedimentary Research*.
- Boggs Jr. S. & Krinsley D. 2006. Application of cathodoluminescence imaging to the study of sedimentary rocks. Cambridge, University of Oregon.
- Collinson J. D. & Thompson D. B. 1989. *Sedimentary structures*. 2nd ed., London, Chapman and Hall, 207p.
- Dall'agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C.O. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic Rapakivi A-type granite of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**:101-129.

- Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Guimarães F.V., Gabriel E.O., Feio G.R.L., Lamarão C.N., Althoff F.J., Santos P.A., Teixeira M.F.B., Silva A.C., Rodrigues D.S., Santos M.J.P., Silva C.R.P., Santos R.D., Santos P.J.L. 2013. Geologia do subdomínio de transição do Domínio Carajás – implicações para a evolução Arqueana da Província Carajás – Pará. *In: SBG. Núcleo Norte, 13º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Recursos minerais e sustentabilidade territorial na Amazônia: anais – resumos expandidos.* Cap. 14, p. 1082-1085.
- Dall'Agnol R., Teixeira N. P., Rämö O. T., Moura C. A. V., Macambira M. J. B., Oliveira D. C. 2005 Petrogenesis of the paleoproterozoic, rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil. *Lithos*, **80** (1-4): 101-129.
- Della Fávera J. C. 2001. *Fundamentos de estratigrafia moderna*. Rio de Janeiro, Editora UERJ.
- Dias G. S. *et al.* 1996. Datação de zircões de sill de metagabro: comprovação da idade Arqueana da Formação Águas Claras, Carajás - Pará. *In: SBG-Núcleo Norte, 5º Simp. Geol. da Amazônia, Belém. Anais...* p. 376-379.
- Dickinson W. R. 1985. *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones.* *In: Zuffa G.G. (Ed.) Provenance of Arenites.* Dordrecht, The Netherlands, D. Reidel Pub. Co., p. 333-361.
- Rio Doce Geologia e Mineração Ltda. (Docegeo) 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: SBG, 35.º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais ... Anexo,* p. 10-54.
- Feio G.R.L., Dall'agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos, J.O.S., Althoff, F.J., Soares, J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: Implications for crustal evolution of the Carajás province, Amazonian craton, Brazil. *Precambrian Research*. **227**: 157–185.
- Galarza Toro M.A.T., Macambira M.J.B., Maurity C.W. 2001. Idade do depósito Igarapé Bahia (Província Mineral de Carajás, Brasil) com base nos isótopos de Pb. *In: SBG, 7º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém – Pará – Brasil, Resumos expandidos...* 1 CD-ROM.
- Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**:201–211.
- Hogg S. E. 1982. Sheetfloods, sheetwash, sheetflow. *Earth Science Review*, **18**, 59–76.
- Lima F.D. 2002. *Evolução tectônica da terminação Leste da Falha Carajás, Sul do Estado do Pará.* DS Mestrado, Universidade Federal do Pará, 91p.
- Lima F.D. & Pinheiro R.V.L. 2001. As rochas sedimentares clásticas (Formação Gorotire) da terminação Leste da Falha Carajás, Serra dos Carajás – PA. *In: Reis N.J. & Monteiro M.A.S. (ed.) Contribuições à geologia da Amazônia.* Manaus, SBG-NO. v.2, p. 201-224.
- Macambira J.B. 2002. *O ambiente deposicional da Formação Carajás e uma proposta de modelo evolutivo para a bacia Grão-Pará.* UNICAMP, Instituto de Geociências, Pós-graduação em geociência. TS Doutorado, 2002.

- Machado W., Lidenmayer Z. Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás área, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49, 329-354.
- Miall A.D. 2006. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, analysis and petroleum geology*. New York, Spring-Verlag, 582p.
- Middleton G.V. & Hampton, M.A. 1973. Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition, Part I. In: Middleton G.V., Bouma A.H. *Turbidites and deep waters sedimentation*. Soc.Ecn. Paleontol. Mineral, short course, 38p.
- Moreto CPN, Monteiro LVS, Xavier RP, Amaral WS, Santos TJS, Juliani C, Souza F.C.R. 2011. Mesoarchean (3.0 and 2.86 Ga) host rocks of the iron oxide-Cu-Au Bacaba deposit, Carajás Mineral province: U-Pb geochronology and metallogenetic implications. *Miner Deposita* 46: 789–811.
- Nascimento M.S., Oliveira A. 2015. Ambiente deposicional e proveniência da Formação Gorotire, Província Carajás, sudeste do Cráton Amazônico. In: Gorayeb P.S. & Lima A.M.(ed.). *Contribuições à geologia da Amazônia*, v. 9, p 1-14.
- Nichols Gary. 2009. *Sedimentology na stratigraphy*. 2nd ed. United Kingdom, Wiley Blackwell.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, pré-cambriano da Serra dos Carajás. Redescrção e redefinição. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 7: 177-197.
- Pidgeon R.T., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 2000. Th-U-Pb isotopic systems and internal structures of complex zircons from an enderbite from the Pium Complex, Carajás Province, Brazil: evidence for the ages of granulite-facies metamorphism and the protolith of the enderbite. *Chemical Geology*, 166: 159-171.
- Pinheiro R.V.L. 1997. *Reactivation history of the Carajás and cinzento strike slip systems, Amazon, Brazil*. TS Doutorado, Durham, Inglaterra, 408 p.
- Pinheiro R.V.L. & Holdsworth R.E. 1997. Reactivation of Archaean strike-slip fault systems, Amazon region, Brazil. *Journal of the Geological Society*, London, 154: 99-103.
- Rees A.I. 1968. The production of preferred orientation in a concentrated dispersion of elongated and Flattened Grains. University of Birmingham. *The Journal of Geology*, 76 (4): 457-465, Jul.
- Santos J.O.S., Hartmann L.A., Gaudette H.E., Groves D.I., Almeida M.E., McNaughton N.J., Fletcher I.R. 2000. A new understanding of the provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U-Pb and Sm-Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453-488.
- Santos J.O.S. 2003. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil Central. In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H. (ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG*. Geology, tectonics and mineral resources of Brazil: text, maps & GIS. Brasília, DF, Companhia de Recursos Minerais-CPRM, p. 169-226.

Sardinha A.S., Barros C.E. de M., Krysmiski R. E., Macambira M.J.B. 2002. Petrografia e Geocronologia U-Pb em zircão do Granito Serra do Rabo, Província Mineral de Carajás, Pará. *In: SBG, 7º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Resumos expandidos...* 1 CD-ROM.

Souza S.Z., Dall'agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S., Barros C.E.M. 1996. Carajás mineral province: geological, geochronological and tectonic constrasts on the Archean evolution of the Rio Maria granite-greenstone Terrain and the Carajás block. Extended abstracts. *In: Symposium on Archean Terranes of South America Platform, Brasília,DF, Extended abstracts*, 31-32p.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3) : 174-182.

Tassinari C.C.G. & Macambira M. 2004. A evolução tectônica do Craton Amazônico. *In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (ed.). Geologia do Continente Sul Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques Almeida. São Paulo. p.471-486.*

Tucker M. E. 2001. *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*. 3rd Ed. Oxford, Blackwell.

Vasquez M.L. & Rosa C.L.T. (org.). 2008. *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará : escala 1:1.000.000*. Belém, CPRM, 328 p

Viseras C., Calvache M.L., Soria J.M., Fernadez J. 2002. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space. Examples from the Betic Cordillera, Spain. *Geomorphology*, **50** (1-3): 181-202, Feb.

Walker R.G. 1990. Facies modeling and sequence stratigraphy concepts. *Jornal of Sedimentary Petrology*, **60**: 777-786.

Walker R. G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In: Walker R. G. & James N. P. (Eds.). Facies models - response to sea level change*. Ontario, Canada, Ed. Geological Association of Canada, v. 1, p. 1-14.

Wirth K.R., Gibbs A.K., Olszewski Jr. W.J. 1986. U-Pb ages of zircons from the Grão Pará Group and Serra dos Carajás Granite, Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(2):195-200.

**APÊNDICES**

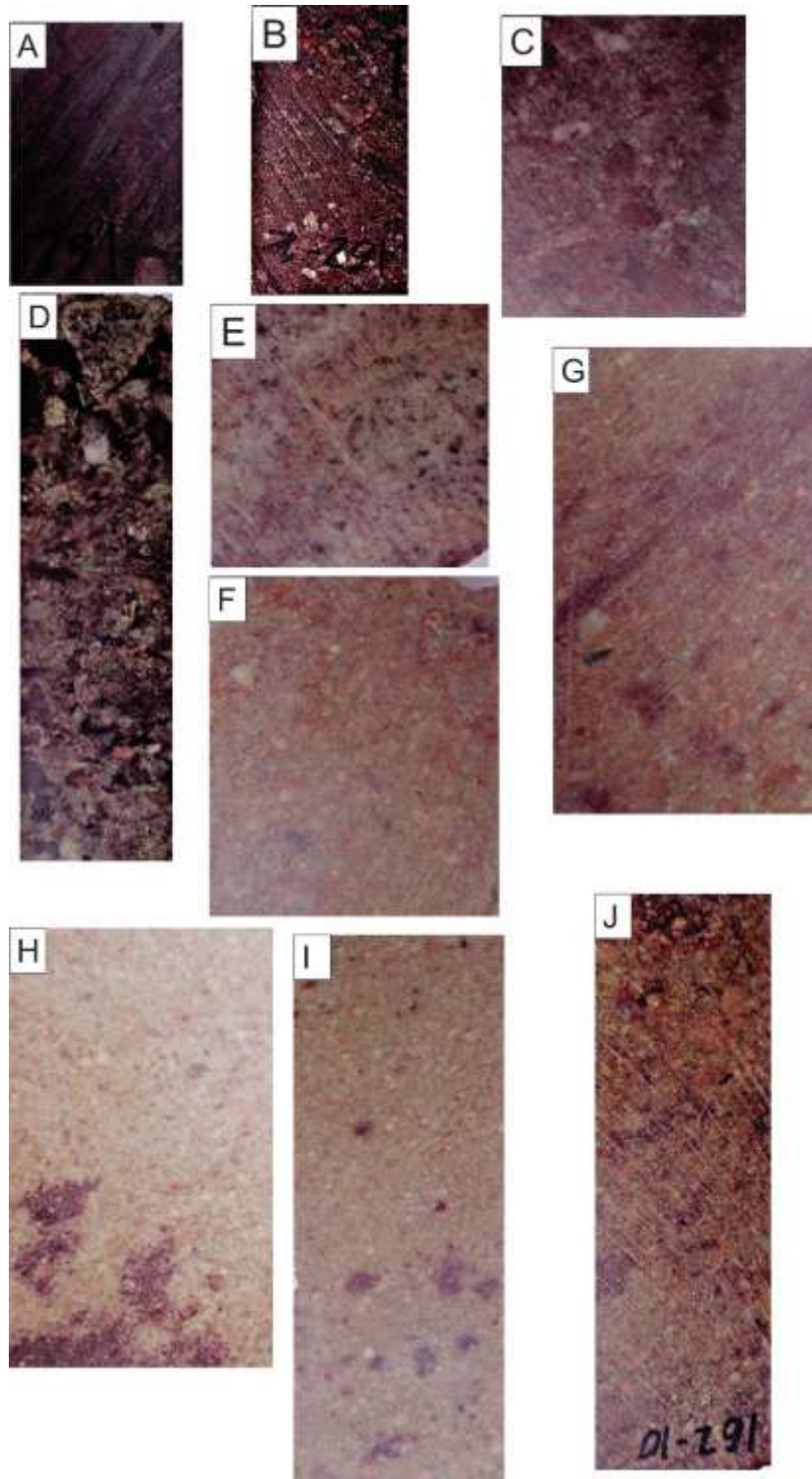
**APÊNDICE A – IMAGENS DOS TESTEMUNHOS DE SONDAGEM (FURO FD 162)**

Figura 21- Testemunhos de sondagem da Formação Gorotire. A) 162-1; B) 162-2; C) 162-3; D) 162-4; E) 162-5

## APÊNDICE B – TABELAS DE CONTAGEM DE PONTOS E DE PORCENTAGENS

Constituintes	FD162-2	FD162-3	FD162-4	FD162-5	FD162-6	FD162-7	FD162-8	FD162-9	FD162-10
Quartzo monocristalino	28	57	14	10	9	7	13	5	10
Quartzo policristalino	42	68	72	94	116	98	91	92	92
Plagioclásio	75	59	106	196	84	27	36	43	38
Feldspato Potássico	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Microclina	24	2	0	0	2	0	0	0	4
ortoclásio	2	0	0	1	0	0	0	0	0
Pseudomatriz	17	75	68	15	101	147	150	135	110
Cimento de oxi-hidróxido de Fe	90	24	22	6	7	17	3	4	14
Fragmento de rocha	22	17	26	5	25	22	22	30	34
Clorita	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerais opacos	2	10	2	1	3	4	1	0	3
Chert	0	0	1	0	1	0	2	0	0
Total	311	312	311	328	348	322	318	311	305

Tabela 3: Porcentagem dos constituintes da Formação Gorotire

Constituintes (%)	FD162-2	FD162-3	FD162-4	FD162-5	FD162-6	FD162-7	FD162-8	FD162-9	FD162-10
Quartzo monocristalino	9	18	5	3	3	2	4	2	3
Quartzo policristalino	14	22	23	29	33	30	29	30	30
Plagioclásio	24	19	34	60	24	8	11	14	12
Feldspato Potássico	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Microclina	8	1	0	0	1	0	0	0	1
ortoclásio	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pseudomatriz	5	24	22	5	29	46	47	43	36
mento de oxi-hidróxido de	29	8	7	2	2	5	1	1	5
Fragmento de rocha	7	5	8	2	7	7	7	10	11
Clorita	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Minerais opacos	1	3	1	0	1	1	0	0	1
Chert	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total	100								

Tabela 4: Constituintes usados na classificação dos conglomerados e arenitos, segundo Folk (1954)

Constituintes (%)	FD162-2	FD162-3	FD162-4	FD162-5	FD162-6	FD162-7	FD162-8	FD162-9	FD162-10
Quartzo	33	45	37	32	37	35	33	32	35
Feldspatos	48	22	30	61	26	9	12	15	15
Fragmentos de rocha	19	33	33	6	37	56	55	54	50
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabela 5: Porcentagem dos principais constituintes usados na classificação de cada amostra.

Constituintes	FD162-2	FD162-3	FD162-4	FD162-5	FD162-6	FD162-7	FD162-8	FD162-9	FD162-10
Quartzo	70	125	106	104	125	105	104	97	102
Feldspatos	101	61	86	197	86	27	36	45	42
Fragmentos de rocha	39	92	94	20	126	169	172	165	144
Total	210	278	286	321	337	301	312	307	288