



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E ENGENHARIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

**“MAPEAMENTO ESTRUTURAL DO EIXO N4, SERRA NORTE,
PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.”.**

Marabá 2018

**“MAPEAMENTO ESTRUTURAL DO EIXO N4, SERRA NORTE,
PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.”.**

Projeto apresentado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a obtenção do título de graduação em Geologia, sob coordenação da Prof. Dra. Gilmara Feio.

Orientador

Msc. Francisco Ribeiro da Costa

Corientador

Marcus Gutemberg Pira

Banca Examinadora

Msc. Aderson Pires

Dr. Leonardo Brasil

Marabá, fevereiro de 2018.

*Quando sono solo
E sogno all'orizzonte
E mancan le parole
Sì lo so che non c'è luce
In una stanza quando manca il sole
Se non ci sei tu con me, con me
Su le finestre
Mostra a tutti il mio cuore
Che hai acceso
Chiudi dentro me
La luce che
Hai incontrato per strada*

*Con te partirò
Paesi che non ho mai
Veduto e vissuto con te
Adesso sì li vivrò
Con te partirò
Su navi per mari
Che, io lo so
No, no, non esistono più
Con te io li vivrò*

*Quando sei lontana
Sogno all'orizzonte
E mancan le parole
E io sì lo so
Che sei con me, con me
Tu mia luna, tu sei qui con me
Mio sole tu sei qui con me
Con me, con me, con me*

*Con te partirò
Paesi che non ho mai
Veduto e vissuto con te
Adesso sì li vivrò
Con te partirò
Su navi per mari
Che, io lo so
No, no, non esistono più
Con te io li rivivrò
Con te partirò
Su navi per mari
Che, io lo so
No, no, non esistono più
Con te io li rivivrò
Con te partirò
Io con te*

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar por toda capacitação durante a longa trajetória acadêmica. Aos meus pais por todo o esforço, paciência e dedicação que tiveram comigo ao longo desses 5 anos. Vocês são os maiores exemplos que sempre pude ter em minha vida; meu pai Salviano Machado, meu maior exemplo, não tenho palavras para dizer o quão grato sou por todos os ensinamentos, minha mãe Neiva Machado a quem amo tanto e tenho como maior exemplo de mulher batalhadora. Aos meus irmãos Daniel e Samuel Machado, agradeço por todos os ensinamentos e discussões geológicas que tivemos ao longo dos anos, tenho um grande sonho de um dia poder ter o prazer de trabalhar ao lado de dois grandes geólogos como vocês.

A todos os professores da Faculdade de Geologia de Marabá, um muito obrigado por todo conhecimento passado durante todos os anos e por toda a dedicação para que o curso de Geologia Marabá seja referência em território nacional. A meu orientador Francisco Ribeiro pelas discussões, instruções e por todo apoio. A toda equipe de Planejamento de Curto Prazo Vale, em especial os geólogos Carlos Eduardo, Cláudio Rosas e Marcus Pira, obrigado por toda a paciência e por todos os ensinamentos; um agradecimento especial ao grande geólogo e coorientador do presente trabalho Marcus Pira por toda ajuda, orientação e discussões para a elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço meus irmãos de geologia; Carlos Henrique, Lucas Scaramussa e Fadislán Nauã, meus sinceros votos de sucesso a todos vocês, tenho certeza que irão exercer com excelência e orgulho nossa profissão.

Resumo

O trabalho de conclusão de curso é uma proposta mapeamento estrutural da região que faz parte da Serra Norte, eixo N4 na Província Mineral de Carajás, localizada no município de Parauapebas, ao sudeste do estado do Pará. O presente relatório corresponde ao mapeamento estrutural realizado no eixo N4, minas N4WN, N4ECC, N4EEN, N4WS. Na área de estudo foram mapeadas rochas pertencentes ao Grupo Grão-Pará, compreendendo as rochas ferríferas da Formação Carajás e as máficas da formação Parauapebas.

Estudos realizados nesta pesquisa apontam para uma deformação simples do tipo sinistral e componente pura com encurtamento de NE para SW. A deformação dessas rochas se concentra em faixas com direção NW-SE coincidindo com traços maiores de descontinuidades que convergem de forma côncava a partir da Falha Carajás. Assume-se que a deformação dessas rochas ocorreu durante a reativação transpressiva sinistral que teve lugar no Sistema Transcorrente Carajás, entre cerca de 2.6 e 2.0 Ga.

Abstract

The work of completing the course is a structural mapping of the region that is part of the Serra Norte, axis N4 in the Mineral Province of Carajás, located in the municipality of Parauapebas, southeast of the state of Pará. This report corresponds to the structural mapping carried out in the N4 shaft, N4WN, N4ECC, N4EEN, N4WS. In the study area, rocks belonging to the Grão-Pará Group, including the Carajás Formation rocks and the mafic formations of the Parauapebas formation.

Studies carried out in this research point to a simple deformation of sinistral type and pure component with shortening from NE to SW. The deformation of these rocks is concentrated in bands with NW-SE direction coinciding with larger discontinuity traces that converge in a concave form from the Carajás Fault. It is assumed that the deformation of these rocks occurred during the sinistral transpressive reactivation that took place in the Carajás Transcurrent System, between about 2.6 and 2.0 Ga.

Lista de Figuras e Tabelas

Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.	12
Figura 2 - Vias de acesso a Serra Norte	13
Figura 3 - Mapa de lineamentos fotoestruturais indicando os principais conjuntos de lineamentos observados na região da Serra Norte; segundo Fábio et al.	16
Figura 4 - Mapa de lineamentos Eixo N4.....	17
Figura 5 – Imagem apresentando a compartimentação da área de estudo Erro! Indicador não definido.	
Figura 6 - Blocodiagrama esquemático mostrando a estrutura regional interpretada da Província Carajás e arredores; a escala horizontal é aproximada e a escala vertical é exagerada – a charneira mergulha entre 20 e 35° W. Esquema segundo Rosière et al.....	26
Figura 7 - Imagem Landsat 8: composição visível nas bandas R4:G3:B2.....	30
Figura 8 – (a) Contato entre jaspilito e hematitito friável; (b) detalhe para amostra de jaspilito dobrado; (c) contato por falha entre hematitito friável e rocha máfica alterada.....	32
Figura 9 - (a) Detalhe para foliação de hematitito friável; (b) Afloramento de HF.	33
Figura 10 - (a) Detalhe para amostra de canga estruturada; (b) estrutura laminada em canga estruturada, ressalta-se a alteração da hematita/magnetita para goethita. (c) Afloramento de canga estruturada. (d) Detalhe para amostra de canga química.	34
Figura 11 - (a) Contato por falha colocando lado a lado minério de ferro e máfica.; (b) sill de máfica decomposta em contato concordante com hematitito friável. (c) Afloramento evidenciando alteração das rochas máficas. (d) Afloramento de rocha máfica são muito fraturada. (e) Detalhe para amostra de basalto, mina de N4WN.....	35
Figura 12 - Mapa Geológico da área de estudo.....	36
Figura 13 - Mapa Geológico de mina; Eixo N4.	37
Figura 14 - (a) Contato concordante, ondulado entre rocha máfica decomposta e minério de ferro; (b) Contato por falha colocando máfica e minério em mesmo nível.....	39
Figura 15 - (a) Afloramento situado na mina de N4WN; (b) Detalhe para dobramento em conjunto da Formação Ferrífera e sill. (c) Detalhe para dobra assimétrica na Formação Ferrífera. (c) Esquema segundo Fossen mostrando dobras em Z, M e S em comportamentos reológicos distintos.....	40

Figura 16 - Distribuição estatística dos polos de b do Grupo Grão-Pará plotados no hemisfério inferior do Estereograma de Schmidt–Lambert evidenciando encurtamento preferencial na direção NE-SW.....	41
Figura 17 – (a) Basalto fortemente fraturado, mina de N4WN; (b) Estereograma de planos e pólos mostrando dispersão do faturamento nas rochas máficas.....	42
Figura 18 - (a) Contato concordante entre hematitito friável e rocha máfica alterada (sill); (b) Dique de rocha máfica decomposta truncando o acamamento do minério de ferro.....	43
Figura 20 - Fotografia aérea evidenciando a divisão das cavas de N4WS por falhamento. Visada para sul.	45
Figura 19 - Fotografia aérea evidenciando movimentação dextral na mina de N4WN. Visada para NE.	45
Figura 21 - Mapa de pontos avaliados e levantados.....	54

Tabelas

Tabela 1 – Relação do número de pontos, medidas e amostras coletadas em campo.	18
Tabela 2 - Organização dos dados estruturais do banco de dados Vale.	19
Tabela 3 - Comparação entre colunas estratigráficas ao longo do tempo, modificado de DOCEGEO 1987, Araújo & Maia 1991, Pinheiro 1997.	24
Tabela 4 - Relação das bandas da imagem Landsat 8 com suas relações de comprimento de onda e resolução.	30
Tabela 5 - Quadro sumário das deformações que afetam as rochas e respectivas estruturas na áreaI.	43

Índice

Agradecimentos	4
Resumo	5
<i>Abstract</i>	5
Capítulo 1: Introdução	10
1.1 Considerações Iniciais.....	11
1.1.1 Objetivo	11
1.1.2 Localização e Vias de Acesso	12
1.2 Materiais e Metodologia de Trabalho	13
1.2.1 Etapa Pré-Campo.....	13
1.2.1.1 Revisão Bibliográfica.....	13
1.2.1.2 O Uso de Sensoriamento Remoto	14
1.2.1.3 Estudo Fotogeológico.....	14
1.2.1.4 Análise Preliminar das Estruturas	15
1.2.1.5 Realce dos Lineamentos.....	15
1.2.2 Etapa de Campo	18
1.2.2.1 Coleta de Dados	18
1.2.3 Etapa Pós Campo	18
1.2.3.1 Padronização dos dados estruturais.....	18
1.2.3.2 Análise e interpretação dos Resultados.....	19
Capítulo 2: Geologia Regional	20
2.1 Província Mineral de Carajás	21
2.2 Embasamento	21
2.2.1 Complexo Xingu	21
2.2.2 Diopsídio-norito Pium.....	21
2.2.3 Ortogranulito Chicrim-Cateté	21
2.3 Grupo Grão-Pará	22
2.3.1 Formação Parauapebas.....	22
2.3.2 Formação Carajás	22
2.4 Grupo Igarapé Bahia	22
2.5 Formação Águas Claras	23
2.6 Formação Gorotire	23
2.7 Estrutura da Serra dos Carajás	25

2.7.1 Arquitetura da Dobra Carajás.....	25
2.7.2 Zonas de Cisalhamento Regionais	26
2.8 Relação estrutura – Mineralização de Ferro.....	27
Capítulo 3: Geotecnologias	28
3.1 Introdução.....	29
3.2 Sensoriamento Remoto	29
3.2.1 Imagens Landsat 8.....	29
Capítulo 4: Estratigrafia.....	31
4.1 Considerações Iniciais.....	32
4.2 Formação Carajás	32
4.2.1 Jaspilito (JP):.....	32
4.2.2 Hematitito Friável (HF).....	33
4.2.3 Hematitito Compacto (HC)	33
4.2.4 Canga.....	33
4.3 Formação Parauapebas	34
4.4 Geologia Local	35
Capítulo 5: Geologia Estrutural	38
5.1 Introdução.....	39
5.2.1 Contatos Litológicos	39
5.2.2 Dobras	40
5.2.3 Fraturas e Falhas.....	41
5.2.4 Diques.....	42
5.3 Evolução Estrutural dos eventos deformacionais.....	43
5.3.1 Estruturas da Fase D1.....	44
5.3.2 Estruturas da Fase D2.....	44
5.3.3 Estruturas da Fase D3.....	44
5.4 Análise Cinemática	44
Capítulo 6: Conclusões e Recomendações	46
6.1 Interpretação Tectônica para a Região	47
6.2 Recomendações	48
Referências Bibliográficas.....	49
Anexos.....	54

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Considerações Iniciais

Ao longo do período letivo de 2017, os alunos que estão na etapa final do curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), desenvolveram etapas de trabalho de pesquisa visando a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), como parte dos requisitos acadêmicos para a obtenção do título de bacharel em Geologia.

O trabalho, proposto e coordenado pelo professor Msc. Francisco Ribeiro da Costa e pelo Geólogo Marcus Gutemberg Pira está inserido no âmbito “MAPEAMENTO ESTRUTURAL DO EIXO N4, SERRA NORTE, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.”.

”. O trabalho é uma proposta de mapeamento estrutural realizado na região inserida no município de Parauapebas, compreendendo a área da Serra Norte na parte norte da Serra dos Carajás.

O presente relatório expressa os resultados dos estudos realizados na subárea, cujo responsável é constituído pelo discente Gabriel Machado. No texto estão relatados os dados adquiridos, assim como as respectivas análises, interpretações e conclusões.

1.1.1 Objetivo

O objetivo geral desta proposta é um mapeamento estrutural do eixo N4, materializado em mapas geológico-estrutural na área apresentada na Figura 1, no item área de trabalho, de acordo com a abrangência dos dados coletados, tomando como exemplo a Serra do Norte situada na parte norte da Serra dos Carajás.

1.1.2 Localização e Vias de Acesso

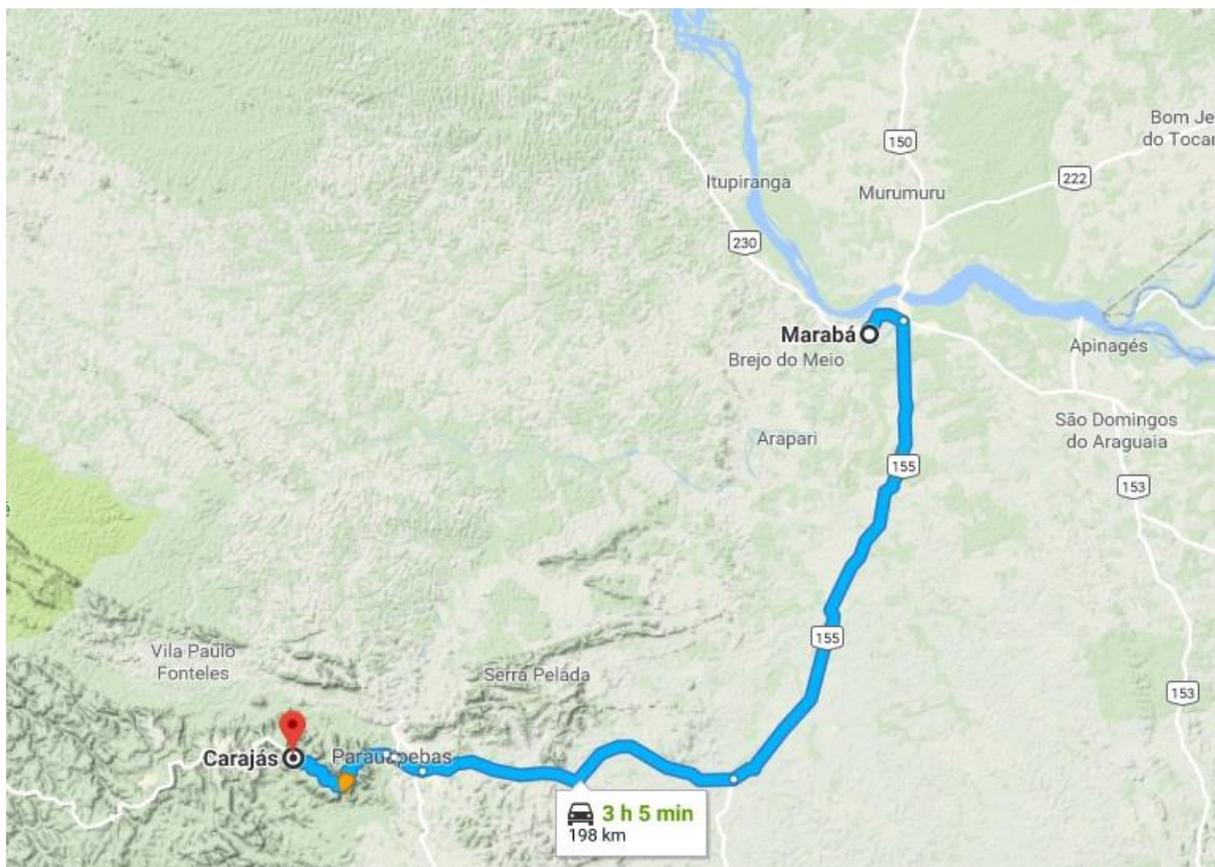
A área de estudo está localizada no município de Parauapebas, sudeste do estado do

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo.



O acesso rodoviário partindo de Marabá pode ser feito através da rodovia PA-275, percorrendo-se cerca de 170 Km até atingir o município de Parauapebas. A partir daí o acesso as minas da região da Serra Norte se dá pela rodovia Raimundo Mascarenhas, são cerca de 35 Km entre o trajeto da portaria Nacional de Carajás a portaria de acesso ao Complexo Industrial de Carajás (Figura 2).

Figura 2 - Vias de acesso a Serra Norte



1.2 Materiais e Metodologia de Trabalho

A metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, assim como em todo trabalho de mapeamento, abrangeu diferentes etapas, compreendidas nas fases pré-campo, campo e pós-campo, que podem ser brevemente sintetizadas em seis principais abordagens: revisão bibliográfica com enfoque na área de interesse; avaliação preliminar da região por meio de estudos fotogeológicos; análise preliminar das estruturas presentes na área; realce dos lineamentos; coleta e processamento de dados; análise, interpretação e divulgação dos resultados. Estas etapas encontram-se detalhadamente descritas a seguir.

1.2.1 Etapa Pré-Campo

1.2.1.1 Revisão Bibliográfica

Uma vez definida a área de estudo no início do terceiro semestre letivo de 2017, realizou-se a revisão bibliográfica acerca da geologia regional, a partir da leitura criteriosa do acervo bibliográfico disponível, nos mais variados trabalhos e artigos. A revisão teve como

propósito aprimorar os conhecimentos sobre a geologia da região, permitindo o início do trabalho de mapeamento com a prévia aplicação de tal conhecimento. Esta etapa exigiu continuidade ao longo de toda extensão do trabalho.

1.2.1.2 O Uso de Sensoriamento Remoto

Na Região Amazônica, em particular nas formações ferríferas bandadas da Província Mineral de Carajás (PMC), a cobertura vegetal compromete a extração de informações estruturais a partir de dados de sensoriamento remoto ótico, pois ela mascara as feições geomorfológicas e espectrais sutis que podem corresponder a estruturas geológicas. O uso de sensores óticos multiespectrais irá realçar de modo significativo às estruturas e feições geológicas contribuindo para uma melhor compreensão do quadro geológico das formações ferríferas da PMC. O uso de sensores remotos de alta resolução espacial tem demonstrado o seu potencial para geração de mapas geológico em aplicações de mineração, de acordo com as características e aplicações de cada que cada um dos sensores apresenta (Grebby et al. 2011; 2012, Hartwig et al. 2013, Paradella et al. 2013, Grohmann et al. 2013).

1.2.1.3 Estudo Fotogeológico

As imagens adquiridas no presente trabalho foram utilizadas na interpretação fotogeológica da área, em que consiste na identificação dos diversos elementos geológicos expostos nas imagens de sensores remotos e/ou fotografias aéreas, com objetivo de cartografar e resolver possíveis problemas geológicos, devendo acompanhar todas as etapas do mapeamento. A fotointerpretação abrange vários ramos das geociências, como os aspectos geomorfológicos, estruturais, estratigráficos e litológicos. As feições observadas nas imagens têm suas correspondências e definições em afloramentos a serem analisados durante a etapa de campo (Arcanjo, 2011, Costa *et all* no prelo). Visando testar a aplicação de métodos de extração de informações de Geologia Estrutural a partir de imagens no eixo N4 na Serra dos Carajás, será abordada esses três processos básicos:

1. Seleção dos tipos de imagens e, quando necessário, geração dos produtos (imagens processadas).
2. Reconhecimento e identificação dos elementos das imagens com os objetos correspondentes, tendo como requisito básico e essencial o conhecimento técnico dos processos e elementos presentes nos produtos.

3. Avaliação dos produtos obtidos a partir de métodos indutivos, dedutivos e comparativos, visando atribuir propriedades seguras ao objeto de estudo.

1.2.1.4 Análise Preliminar das Estruturas

Para determinar quais estruturas são observáveis utilizando os dados de sensoriamento remoto, foi realizada uma análise das estruturas presentes na área. Neste sentido foram utilizados os mapas geológico estrutural onde foram selecionadas áreas alvos.

1.2.1.5 Realce dos Lineamentos

Os resultados da análise preliminar mostram que, aparentemente, o conjunto de dados é capaz de revelar feições estruturais tais como, bandamentos, acamamentos e falhas; em alguns locais formam zonas de cisalhamento. Conseqüentemente, foram utilizadas técnicas de realce visual, afim de auxiliar na geração mapas de lineamentos estruturais.

No presente trabalho, optou-se pela não confecção de um mapa de alinhamento regionais, já que o mesmo foi anexado de Fábio et al. (figura 3). Elaborou-se um mapa de alinhamentos estruturais do Eixo N4; minas N4EEN, N4WN, N4E, N4ECC, N4WS (figura 4).

Figura 3 - Mapa de lineamentos fotoestruturais indicando os principais conjuntos de lineamentos observados na região da Serra Norte; segundo Domingos et al.

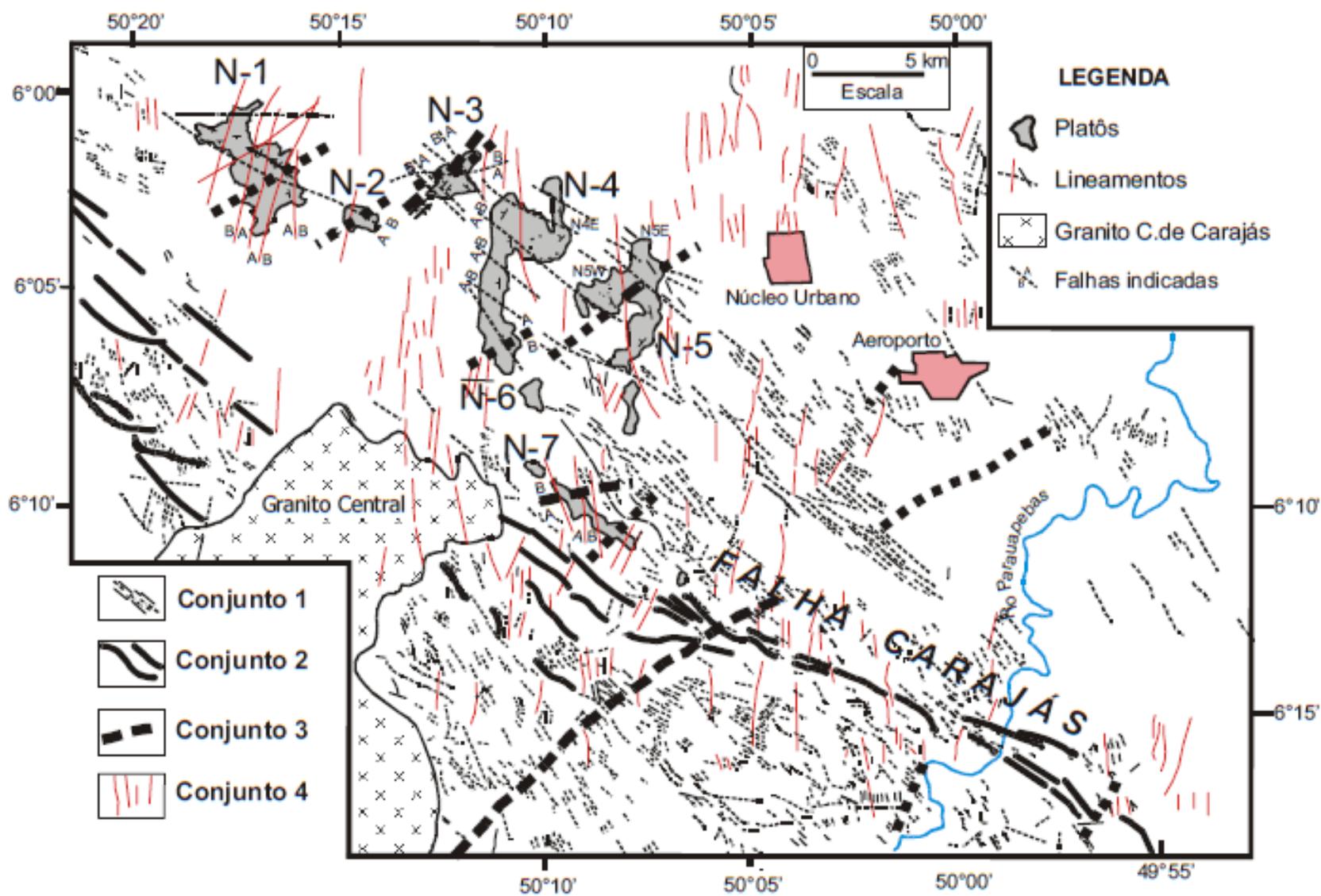
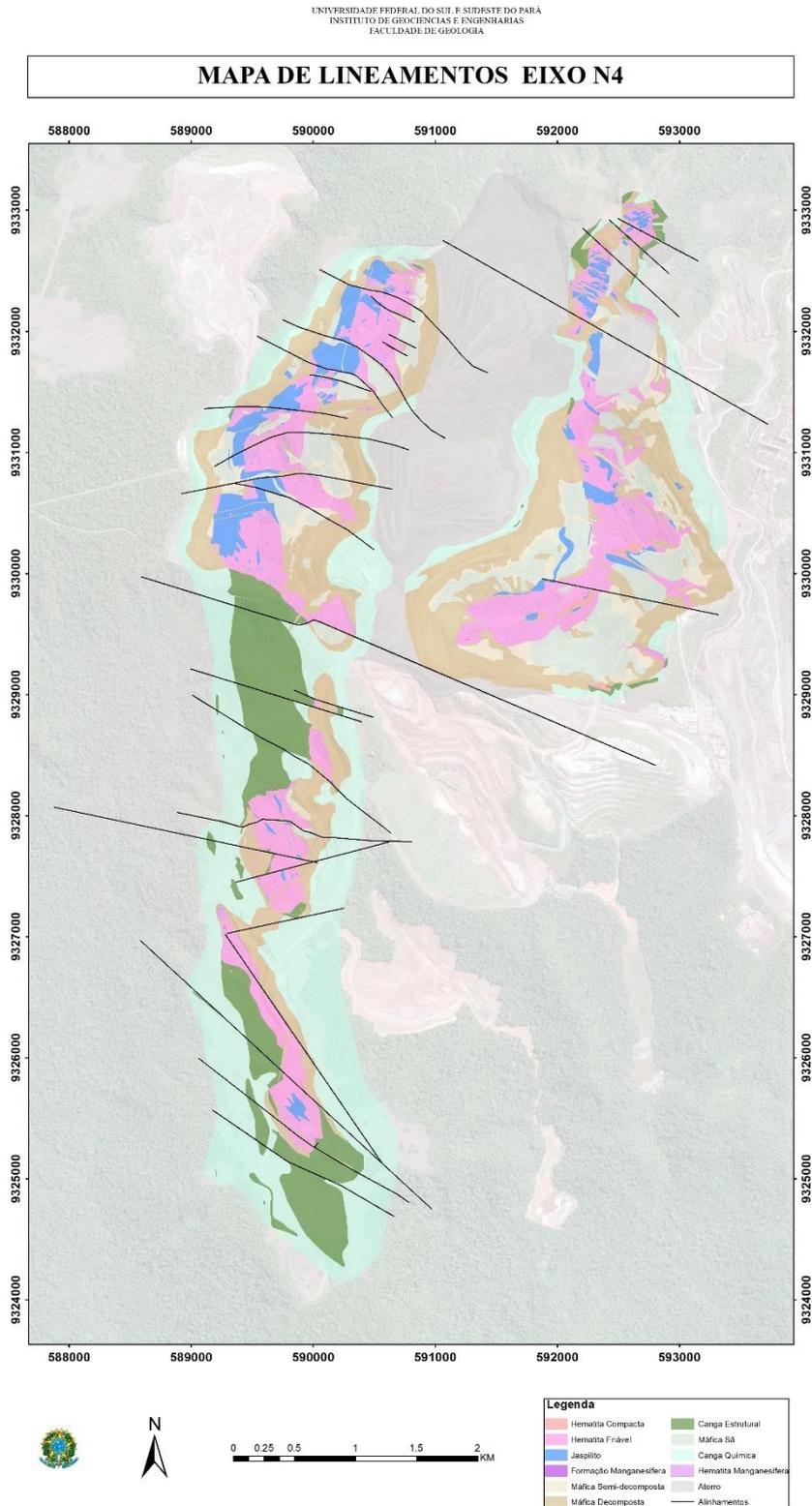


Figura 4 - Mapa de lineamentos Eixo N4.



1.2.2 Etapa de Campo

1.2.2.1 Coleta de Dados

Esta fase refere-se ao trabalho de campo propriamente dito, desenvolvido durante o período de estágio, entre os dias 15 de setembro de 2017 a 18 de fevereiro de 2018. Dados de superfície foram coletados na região da Serra Norte, nas minas do eixo N4. Além disso, foi utilizado uma base de dados estruturais pertencente ao geólogo e coorientador do presente trabalho Marcus Pira. É válido ressaltar que todas as medidas foram cedidas com a permissão da supervisão de Planejamento Vale SA, e as mesmas são base para a dissertação de mestrado de Marcus Pira.

Caminhamentos semanais foram realizados com prévio planejamento. Portanto, foram coletados dados estruturais de todas as unidades geológicas constituintes da área, afim de evidenciar as relações das mesmas com o minério de ferro. Todas as amostras coletadas, medidas estruturais aferidas, informações petrológicas analisadas, foram descritas sistematicamente nos capítulos deste trabalho. Tabela a seguir apresenta uma síntese dos dados coletados em campo:

Tabela 1 – Relação do número de pontos, medidas e amostras coletadas em campo.

Número de pontos levantados	120
Número de medidas aferidas	105
Número de medidas avaliadas	1324

1.2.3 Etapa Pós Campo

1.2.3.1 Padronização dos dados estruturais

Após a coleta dos dados estruturais, iniciou-se o trabalho de organização e padronização, foi criada uma base de dados no Excel contendo todas as medidas estruturais adquiridas a partir da contribuição do geólogo da empresa Vale SA. Marcus Pira e as demais adquiridas no período de mapeamento das minas. Todas as medidas foram sistematicamente separadas da seguinte maneira: grupo, id, coordenadas, elevação, litologia, tipo de estrutura, dipdir/dip, mina, setor e ano (Tabela 2). Após a sistematização dos dados, optou-se em dividir o eixo N4 em compartimentos (Figura 5) afim de uma mais clara caracterização estrutural dos compartimentos e da área como um todo.

Tabela 2 - Organização dos dados estruturais do banco de dados Vale.

group	id	n	e	elev	data	lito	type	dipdir	dip	mina	setor	ano
GROUP1	1	1182.48	1330.79	487	2013	hf	s0	330	55	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	2	1565.63	1241.57	488	2013	hf	s0	240	75	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	4	1464.95	1275.9	487	2013	dm	s0	210	50	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	5	1432.96	1278.45	486	2013	hf	s0	270	45	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	6	1379.01	1286.26	489	2013	hf	s0	235	35	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	7	1301.23	1305.4	484	2013	hf	s0	210	25	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	12	803.96	1474.07	420	2013	hf	s0	265	30	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	13	796.5	1441.03	419	2013	hf	s0	310	15	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	14	787.6	1419.16	425	2013	hf	s0	40	25	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	15	780.72	1413.55	426	2013	hf	s0	40	85	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	16	746.37	1381.97	426	2013	hf	s0	310	15	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	18	663.6	1301.7	420	2013	sil	s0	320	50	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	19	539.02	1192.09	421	2013	hf	s0	270	25	N4E	S12-N4E	2013
GROUP1	20	511.08	1159.71	422	2013	hf	s0	325	55	N4E	S12-N4E	2013
GROUP1	27	1113.36	1363.91	482	2013	jp	s0	290	35	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	31	1215.86	1373.47	464	2013	hf	s0	270	50	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	38	608	1665	437	2013	hf	ct	350	60	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	40	691	1765	455	2013	hmn	s0	330	25	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	41	594	1725	451	2013	hmn	ct	350	50	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	42	527	1692	454	2013	dm	ct	35	45	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	45	399	1513	454	2013	dm		210	40	N4E	S11-N4E	2013
GROUP1	47	1382	1360	444	2013	hf	s0	260	20	N4E	S11-N4E	2013

1.2.3.2 Análise e interpretação dos Resultados

Na etapa final do trabalho foram integrados os dados obtidos em campo e as interpretações do período pré-campo, em escritório, ao longo do primeiro semestre letivo de 2018. A compilação destes elementos possibilitou a revisão do mapa fotointerpretado preliminar, assim como a definição precisa dos contatos litológicos. Definidos os contatos, juntamente com o contínuo empenho na revisão bibliográfica, foram estabelecidas as diferentes unidades estratigráficas que compõem a área, assim como foram realizadas interpretações estruturais precisas em termos de processos tectônicos e eventos deformacionais.

Capítulo 2: Geología Regional

Capítulo 2 – Geologia Regional

2.1 Província Mineral de Carajás

2.2 Embasamento

2.2.1 Complexo Xingu

O Complexo Xingu inclui corpos gnáissico-migmatíticos (tonalitos, trondhjemitos e/ou granodioritos), granulitos e granitóides, além de supracrustais. Esta unidade se estendia desde o rio Xingu, no domínio Bacajá, até o sudeste do Pará, no Domínio Rio Maria. O avanço do conhecimento geológico permitiu demonstrar que o referido complexo era na realidade formado por diversos corpos de granitóides, passíveis de serem individualizados, e, conseqüentemente, levou ao abandono do termo Complexo Xingu no domínio Bacajá (Macambira & Lafon 1995, Vasquez et al. 2005, Vasquez et al. 2008a) e no Domínio Rio Maria (Leite 2001, Dall’Agnol et al. 2006, Vasquez et al. 2008b). Portanto, o termo Complexo Xingu acha-se atualmente restrito apenas ao Domínio Carajás (Vasquez et al. 2008b).

2.2.2 Diopsídio-norito Pium

O diopsídio-norito Pium (Vasquez et al. 2008b), anteriormente descrito na literatura como Complexo Pium (DOCEGEO 1987), compreende fundamentalmente gabros e dioritos, maciços a foliados, com variedades ricas em quartzo. Engloba enclaves de granulitos charnockíticos a enderbíticos, considerados por Ricci (2006) como pertencentes à unidade ortogranulito Chicrim-Cateté.

2.2.3 Ortogranulito Chicrim-Cateté

Araújo & Maia (1991) descreveram, ao longo do rio Cateté, ortogranulitos correlacionáveis ao então Complexo Pium. Entretanto, Ricci & Carvalho (2006) e Santos & Oliveira (2010) não consideram que o Complexo Pium seja formado por granulitos e sim por rochas ígneas gabróicas. Neste sentido, os granulitos – charnockito a enderbito - da região entre a Aldeia Indígena Chicrim e rio Cateté seriam considerados os únicos representantes do embasamento granulítico do Domínio Carajás, denominados por Vasquez et al. (2008b) como ortogranulito Chicrim-Cateté.

2.3 Grupo Grão-Pará

2.3.1 Formação Parauapebas

Essa unidade reúne rochas vulcânicas de sequências bimodais de basaltos, doleritos e riolitos com 4 a 6 km de espessura (Pinheiro & Holdsworth, 1997b). As rochas vulcânicas apresentam idade de 2758 ± 39 Ma, obtidas através de U-Pb em zircão, interpretadas como sendo a idade principal do derrame (Gibbs et al., 1986). Estudos geoquímicos classificaram os vulcanitos da Formação Parauapebas como toleítos continentais (Gibbs et al., 1986; Gibbs & Wirth, 1990; Lindenmayer & Fyfe, 1992). Essas rochas exibem efeitos de transformações mineralógicas e recristalização metamórfica, possivelmente inerente ao fácies xisto-verde baixo a alto. Mostram, de uma maneira geral, vários graus de cloritização, silicificação, carbonatização e epidotização.

Ocasionalmente se observa a presença de vesículas preenchidas por esses minerais secundários, com base em estudos petrográficos, geoquímicos e de isótopos de oxigênio, propõem que aproximadamente 70% das rochas vulcânicas máficas do Grupo Grão Pará foram submetidas a transformações causadas por atividade hidrotermal relacionada a dois principais eventos.

2.3.2 Formação Carajás

A Formação Carajás é representada pelas rochas ferríferas que formam os vários tipos de minério de ferro, todos associados à fácies óxido, com idade de deposição de 2.751 ± 4 . Para auxiliar os trabalhos de lavra, os diferentes tipos de minério relacionados às rochas ferríferas da Formação Carajás são classificados de acordo com parâmetros físicos e químicos, estes serão detalhados com maior precisão no capítulo 4.

2.4 Grupo Igarapé Bahia

O Grupo Igarapé Bahia (GIB) corresponde a uma sequência meta-vulcanosedimentar hidrotermalmente alterada, portadora do depósito cupro-aurífero de mesmo nome. A parte inferior deste grupo consiste predominantemente de rochas metavulcânicas máficas intercaladas com formações ferríferas bandadas, enquanto a parte superior é formada por rochas metassedimentares (metarritmitos, metassiltitos, metagrauvas) inter-estratificadas com rochas metapiroclásticas intermediárias a félsicas, bem como, com silixitos e formações ferríferas bandadas. Intercalações com metabasaltos são subordinadas na parte superior.

2.5 Formação Águas Claras

A Formação Águas Claras, redefinida e formalizada por Nogueira et al. (1995), encontra-se na porção central do Sistema Transcorrente Serra dos Carajás, apresentando contato basal discordante com a Formação Igarapé Pojuca e com o Grupo Grão Pará, composto por metavulcânicas e formações ferríferas bandadas das formações Parauapebas e Carajás; seu contato superior com a Formação Gorotire é inferido. Ela contém a jazida manganésífera da Mina do Azul (Dardenne e Schobbenhaus, 2003; Teixeira e Lindenmayer, 2012).

2.6 Formação Gorotire

A Formação Gorotire é constituída de arcóseos grossos a conglomeráticos com seixos de quartzo, K-feldspato, formação ferrífera, e rochas básicas. Também ocorrem paraconglomerados polimíticos marrom avermelhados, litificados, com seixos e matacões (vulcânicas, graníticas, gnaisses, xistos, anfíbolitos, pegmatitos, fragmentos de minério de Mn). É considerada uma sequência clástica imatura não deformada (Pinheiro 1997) que ocorre exclusivamente na terminação leste da Falha Carajás. A formação Gorotire pode ser subdividida em pelo menos duas sucessões separadas por superfícies de discordância erosiva com a Formação Carajás. Provavelmente se formou a partir de um rift, formando uma bacia pull apart, se caracterizando por uma sedimentação rápida e de alta energia.

Tabela 3 - Comparação entre colunas estratigráficas ao longo do tempo, modificado de DOCEGEO 1987, Araújo & Maia 1991, Pinheiro 1997.

	DOCEGEO (1988)	Araújo e Maia (1991)	Pinheiro (1997)		
Proterozóico	Diques ácidos e básicos	Granitos intrusivos Pós-tectônicos	Formação Gorotire		
	Granitos anorogênicos		Granitos anorogênicos e diques		
	Gabro Santa Inês	Intrusões Ultramáficas Pós-tectônicas	Assembleia de Cobertura		
	Grupo Rio Fresco				
	Granito Estrela	Suite Plaqué			
	Grupo Buritirama				
	G. Igarapé Bahia F. Sumidouro F. Grota do Vizinho				
	Arqueano	Seq. Paleovulcânica Superior		Grupo Grão-Para	Formação Águas Claras
		Formação Carajás		Formação Carajás	Formação Carajás
		Formação Parauapebas		Formação Parauapebas	Formação Parauapebas
G. Igarapé Salobo		Grupo Sapucaia		C. Granítico Estrela Grupo Igarapé Pojuca	
G. Igarapé Pojuca					Formação Cinzento
Formação Três Alfa			F. Corpo Quatro		
Gnaiss Cascata					
Complexo Luanga/Serra Azul		Gnaiss Estrela	Ass. do Embasamento		
Complexo Xingu		Complexo Pium e complexo Xingu			Grupo Ig. Salobo
Complexo Pium			Complexo Granítico Gnaiss		
			Suite Plaqué		
		Complexo Xingu			
		Complexo Pium			

2.7 Estrutura da Serra dos Carajás

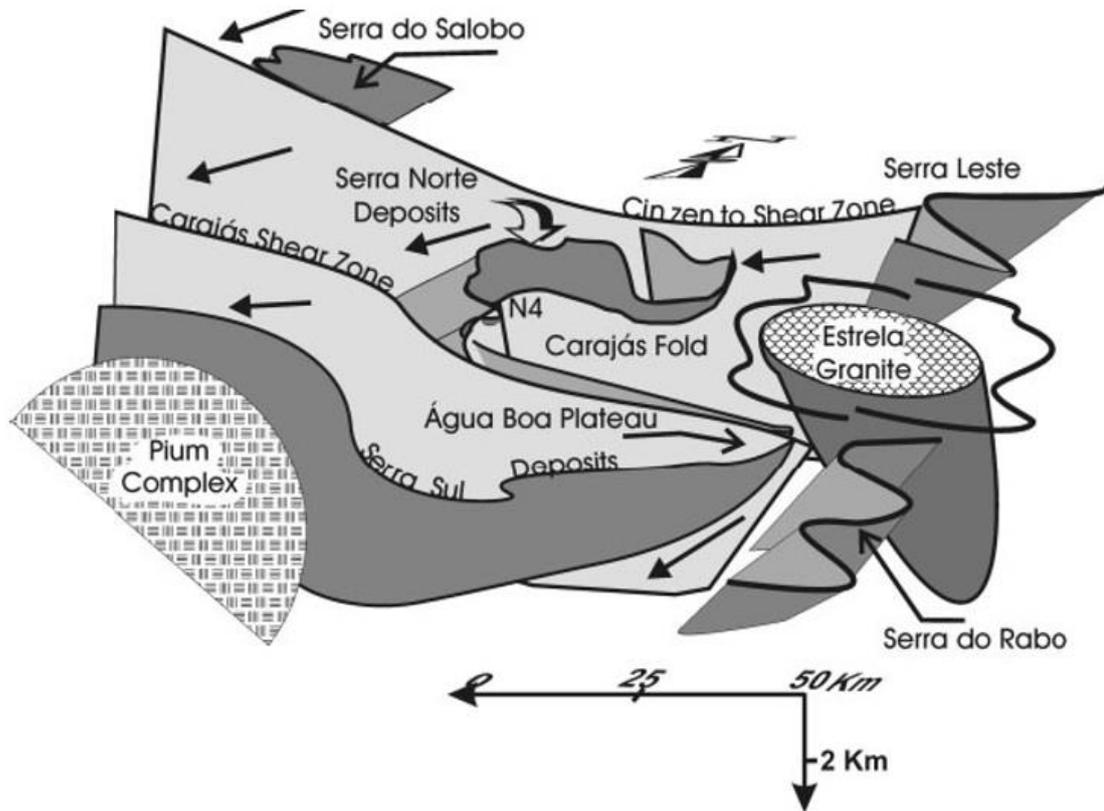
A estrutura dominante da serra dos Carajás é definida por Beisegel et al. (1973) como um sinclínio de aproximadamente 1000 km de comprimento e 100 km de largura, com eixo WNW-ESE. Araújo e Maia (1991) definiram o Cinturão de Cisalhamento, de orientação E-W, formado na porção norte pelos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento. O primeiro representa a descontinuidade mais destacada, com cerca de 130 km de comprimento (Pinheiro e Holdsworth 2000), e indicação cinemática predominantemente sinistral. As deformações associadas à falha Carajás ocorreram a níveis crustais relativamente rasos (< 5 km), mas suas orientações seriam fortemente controladas por um trend de trama dúctil pré-existente nas rochas do embasamento (Pinheiro e Holdsworth 1997).

O domínio setentrional da falha contém corpos de minério de ferro dobrados, falhados e rotacionados, denominados N1 a N9 (Serra Norte), além de corpos de minério na serra Leste. Várias ramificações lítricas do tipo splay, de orientação N-S, controlam o posicionamento desses corpos. O domínio meridional inclui corpos de minério da serra Sul, denominados S1 a S45, mergulhando para norte. Estes compõem um flanco sul da estrutura, sem aparente basculamento ou rotação de blocos.

2.7.1 Arquitetura da Dobra Carajás

A continuidade regional das sequências vulcanossedimentares na Província de Carajás apresenta uma estruturação aproximadamente N-S, dobrada, com o desenvolvimento de um sistema de eixo com caimento moderado, aproximadamente para WNW, intersectado por diversas falhas de orientação geral E-W, subparalelas ao plano axial. A Serra Sul corresponde, conseqüentemente, ao flanco sul de um par sinforme-antiforme em forma de “S”, denominado pelos autores de dobra de Carajás. A zona de charneira desta estrutura sinformal é angulosa e corresponde ao Plateau da Água Boa. A Serra Norte corresponde ao antiformal conjugado, cujos flancos foram estirados, sendo a zona de charneira desmembrada em diversos blocos, alguns rotacionados (Rosière et al. 2005).

Figura 5 - Blocodiagrama esquemático mostrando a estrutura regional interpretada da Província Carajás e arredores; a escala horizontal é aproximada e a escala vertical é exagerada – a charneira mergulha entre 20 e 35° W. Esquema segundo Rosière et al.



2.7.2 Zonas de Cisalhamento Regionais

As zonas de cisalhamento Carajás e Cinzen to têm caráter rúptil-dúctil, sendo comumente acompanhadas de silicificação das rochas por elas cortadas, e apresentam orientação entre E-W e ESE-NNW, subparalela ao plano axial das dobras E-W. Associada e restrita a essas zonas, ocorre ainda uma fina xistosidade penetrativa encontrada nas rochas metavulcânicas e metapelíticas. A Zona de Carajás apresenta cinemática sinistral e acompanha o flanco rompido que divide o par antiformal-siniformal que caracteriza a Dobra Carajás. Trata-se, provavelmente, do produto de amplificação da dobra durante os estágios tardios do encurtamento N-S. Similarmente, a Zona de Cisalhamento do Cinzen to aparenta ter se desenvolvido ao longo de outro par antiformal-siniformal entre a serra Norte e serra do Salobo, com o flanco comum rompido e deslocado paralelamente ao plano axial.

2.8 Relação estrutura – Mineralização de Ferro

Os corpos de minério de ferro de alto teor da Província de Carajás estão intimamente associados com as formações ferríferas do Grupo Grão Pará, embora quantidades significativas de óxido de ferro ocorram associadas com outras rochas hospedeiras e comumente, mas não obrigatoriamente, associadas aos minérios Cu-Au e Au, incluindo as unidades máficas intercaladas como as formações ferríferas.

Os corpos de minério de ferro de Carajás pós-datam o metamorfismo e todos os eventos de dobramento e cisalhamento registrados na Província. Embora a relação da mineralização com as intrusões de granitóides de idade 1,88 Ga ainda não esteja claramente documentada, aparentemente não foram registrados quaisquer contatos intrusivos entre os plútons e os minérios. O maior corpo ígneo, entretanto, o chamado Granito Central Carajás, encontra-se próximo às áreas mais intensamente dobradas e cisalhadas da região e estas estruturas podem ter funcionado como condutos preparatórios e reservatórios para fluidos hidrotermais de origem magmática, em posição distal, e que são responsáveis pela mineralização.

Capítulo 3: Geotecnologías

Capítulo 3 – Geotecnologias

3.1 Introdução

A utilização de novas tecnologias no mapeamento geológico permite a elaboração de um trabalho com uma maior acurácia, grau de confiabilidade e qualidade. As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica (Rosa, 2005). O mapeamento estrutural do eixo N4 trabalhou com a aquisição dados de sensoriamento remoto. A partir dos dados obtidos foram realizados uma série de processamentos e gerados alguns produtos.

O emprego dos dados apresentados teve grande importância durante todas as etapas do trabalho. A etapa pré-campo consistiu na integração, análise e interpretação prévia dos dados. A etapa de campo compreendeu a obtenção de novos dados e o ajuste inicial das interpretações realizadas anteriormente. Na etapa pós-campo houve a reinterpretação dos dados obtidos nas etapas anteriores e elaboração de um modelo que melhor se adequasse ao trabalho.

3.2 Sensoriamento Remoto

3.2.1 Imagens Landsat 8

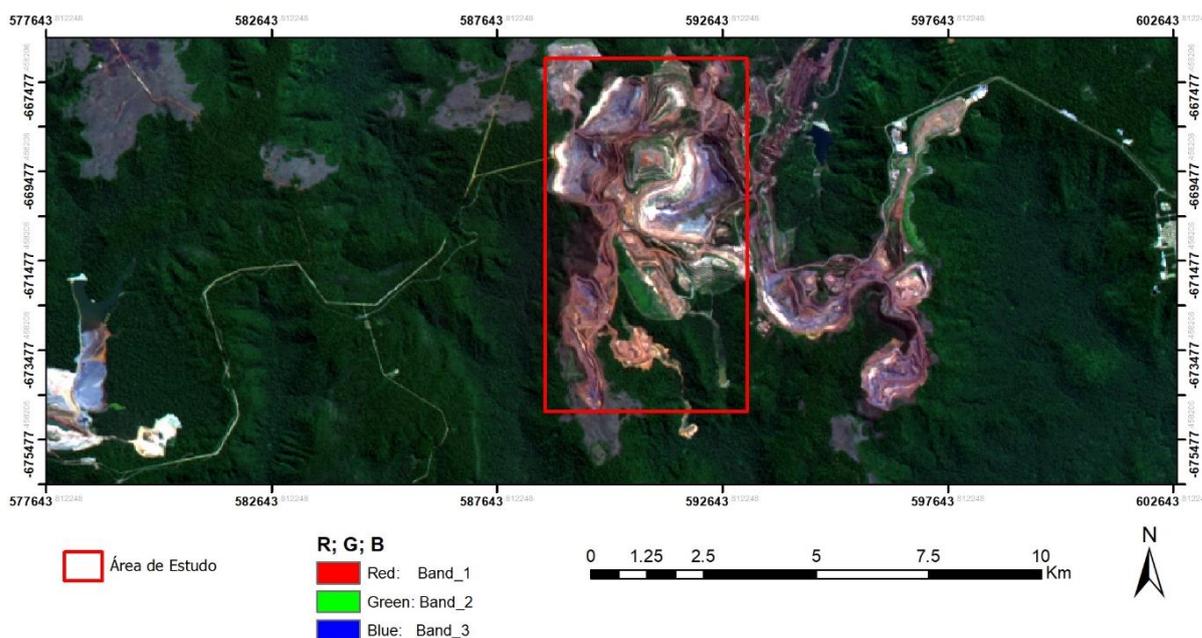
A plataforma Landsat-8 opera com dois instrumentos imageadores, os sensores OLI (Operational Land Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor). Os produtos OLI consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7, e a 9). A tabela 3.1 ilustra as características de comprimento de onda e resolução destes sensores. As faixas térmicas do instrumento TIRS são úteis no fornecimento de temperaturas de superfície mais precisas e os dados são coletados no pixel de 100 metros (RSI, 2003).

As imagens Landsat são referentes ao dia 13 de julho de 2017, Cena LC08_L1TP_224064_20170713_20170726_01_T1 e 1,6% de cobertura de nuvens. As imagens multiespectrais pelo método de fusão de bandas, visando produtos que apresentassem a melhor composição colorida RGB e a melhor resolução espacial. Durante a etapa de processamento foi utilizado o software Global Mapper 15 para gerar as imagens de composições colorida RGB. A composição RGB 4, 3, 2 é a composição colorida real, ou visível (Figura 7).

Tabela 4 - Relação das bandas da imagem Landsat 8 com suas relações de comprimento de onda e resolução.

Bandas	Comprimento de Onda (micrômetros)	Resolução (metros)
Banda 1- Coastal aerosol	0,43 – 0,45	30
Banda 2- Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3- Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4- Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 5- Infravermelho Próximo (NIR)	0,85 – 0,88	30
Banda 6- SWIR 1	1,5 – 1,65	30
Banda 7- SWIR 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8- Pancromática	0,50 – 0,68	15
Banda 9- Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10- Infravermelho Termal (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100
Banda 11- Infravermelho Termal (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100

Figura 6 - Imagem Landsat 8: composição visível nas bandas R4:G3:B2.



Capítulo 4: Estratigrafía

Capítulo 4 – Estratigrafia

4.1 Considerações Iniciais

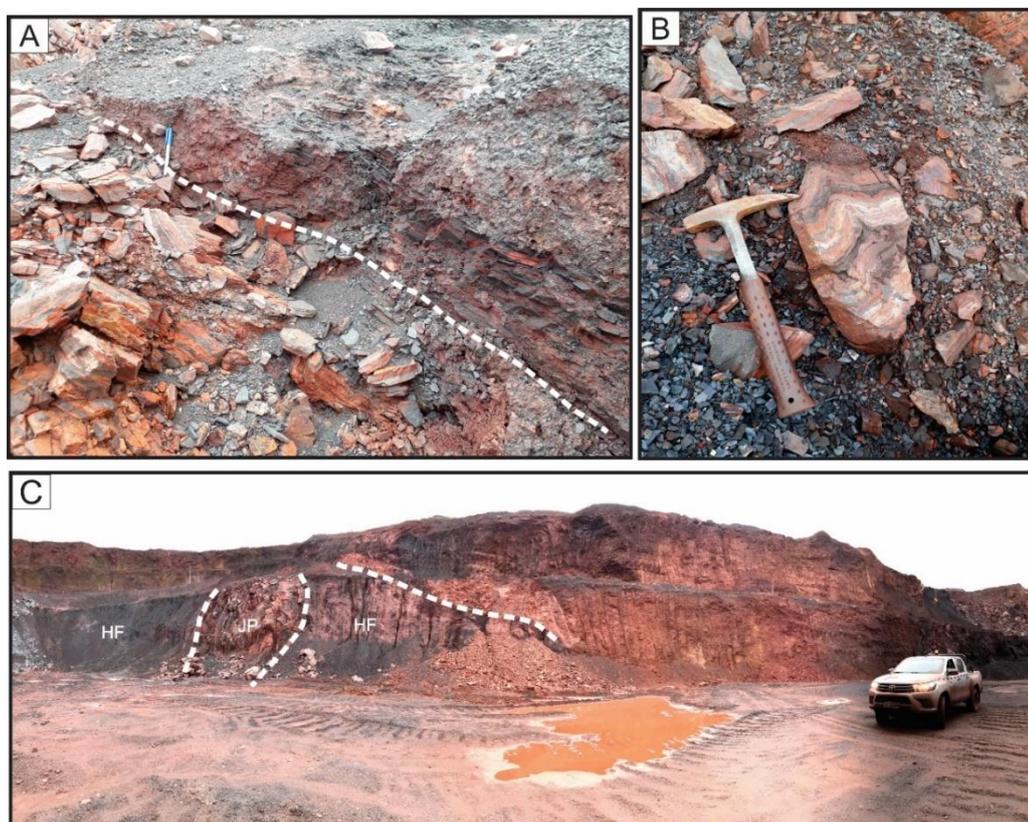
O objetivo deste capítulo é apresentar uma descrição simplificada das rochas do Grupo Grão-Pará que afloram na área de estudo, assim como as relações de contato destas litologias. Estabelecer a relação das rochas vulcânicas máficas da formação Parauapebas com as rochas da formação ferrífera bandada e o minério de ferro de alto teor da Formação Carajás.

4.2 Formação Carajás

4.2.1 Jaspilito (JP):

Rocha composta de camadas de material muito fino e cristalino de quartzo e/ou bandas de chert, com hematita, martita, magnetita e pirita (Araújo & Maia, 1991). Em sua grande maioria, essas rochas encontram-se dobradas e muito fraturadas (figura 8), frequentemente apresentam contato discordante com as máficas da Formação Parauapebas/Igarapé Cigarra e contato concordante com o minério de ferro (HF).

Figura 7 – (a) Contato entre jaspilito e hematitito friável; (b) detalhe para amostra de jaspilito dobrado; (c) contato por falha entre hematitito friável e rocha máfica alterada.



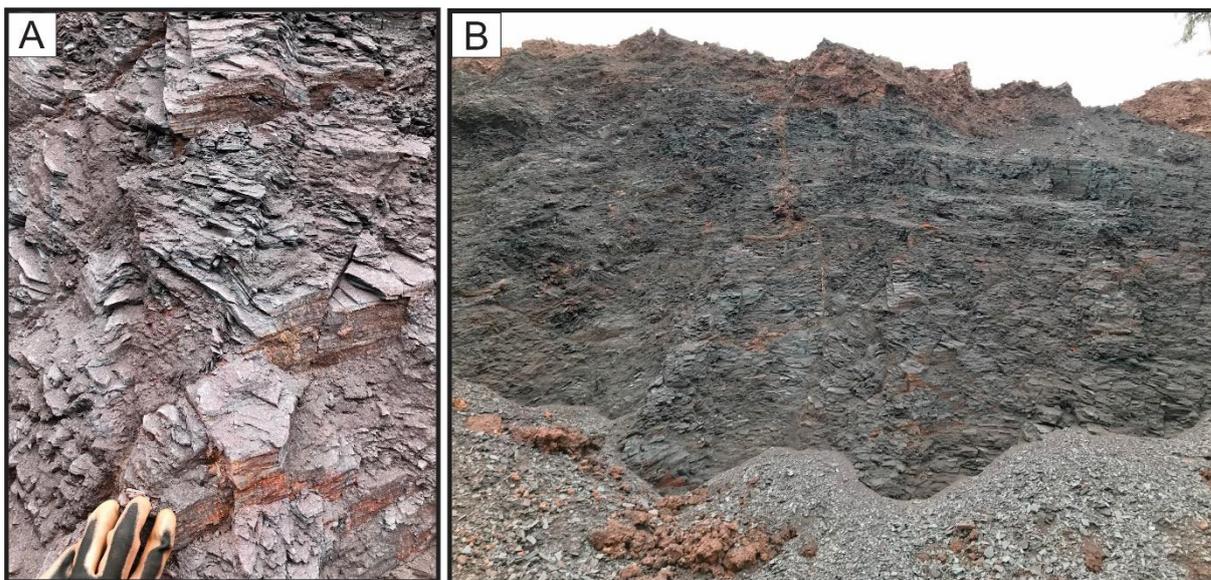
4.2.2 Hematitito Friável (HF)

É o tipo predominante de minério e ocorre ao longo de toda mina, chamado de minério de alto teor, possui valores que variam de 60 a 68% de Fe_{gl} e apresenta fração granulométrica <50% G1. Esse minério frequentemente apresenta variações químicas, sendo a principal delas o hematitito friável manganesífero (HFMN).

4.2.3 Hematitito Compacto (HC)

É composta de placas de hematita compacta de até 5 cm de espessura, intercaladas ou não com hematita friável. Pode ainda ser finamente bandada com alternância de bandas cinza azuladas compactas e bandas vermelhas porosas. Apresentam valores de Fe_{gl} acima de 60% e G1 >50%, ocorre comumente associada a planos de falhas e zonas de cisalhamento.

Figura 8 - (a) Detalhe para foliação de hematitito friável; (b) Afloramento de HF.



4.2.4 Canga

A canga estruturada ou canga de minério tem como característica principal a estrutura laminada, preservada do intemperismo in situ das formações ferríferas bandadas. As lâminas são cinza claras a cinza escura, formadas por hematita e magnetita que geralmente estão alteradas em goethita.

Figura 9 - (a) Detalhe para amostra de canga estruturada; (b) estrutura laminada em canga estruturada, ressaltase a alteração da hematita/magnetita para goethita. (c) Afloramento de canga estruturada. (d) Detalhe para amostra de canga química.

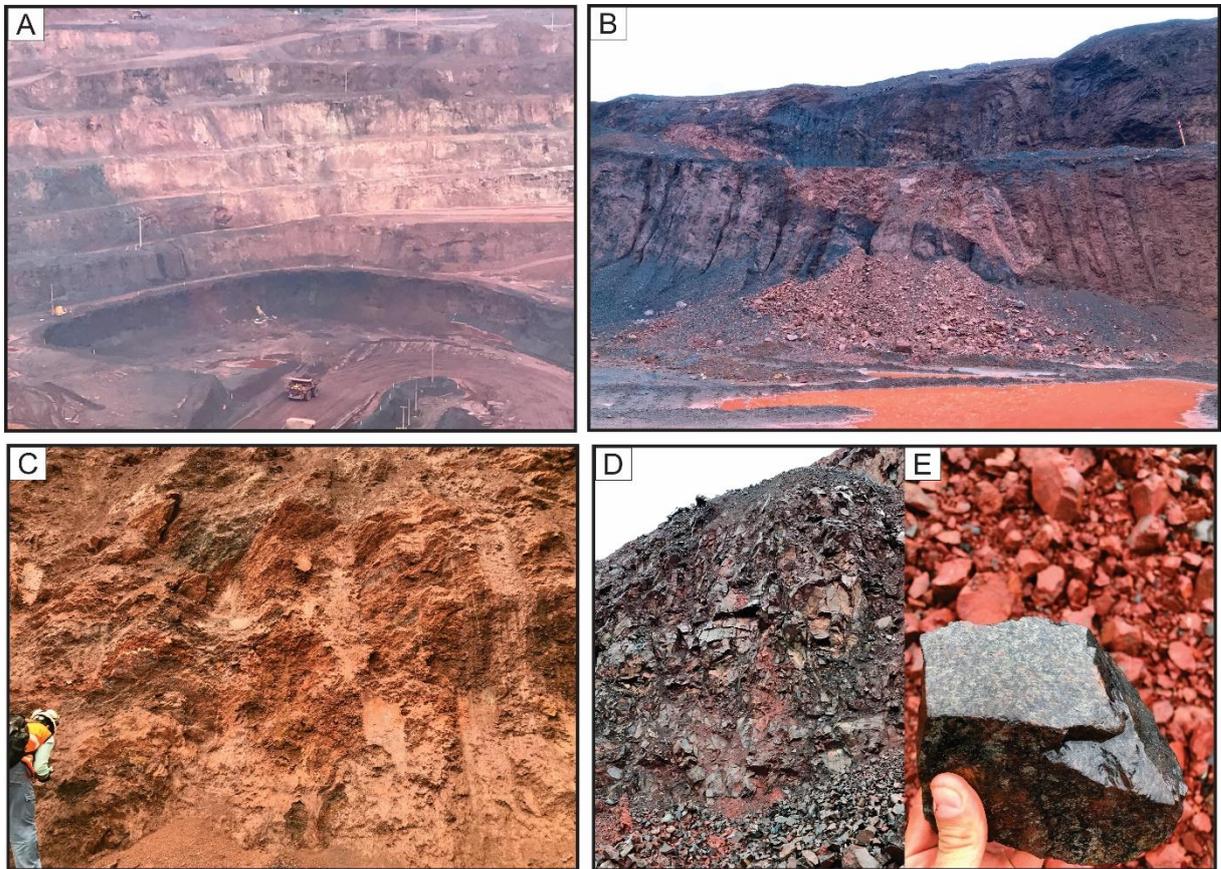


4.3 Formação Parauapebas

A Formação Parauapebas é formada por rochas vulcânicas máficas, definidas como basaltos. Os basaltos e diabásios podem ser verde escuros a preto esverdeados (Fig. 10D), localmente com tons cinza esverdeados (Fig. 10E). Possuem estrutura maciça e são holocristalinos. Macroscopicamente os basaltos são afaníticos.

A maioria das rochas da Formação Parauapebas está bastante intemperizada, o que originou um solo vermelho argiloso típico, usado como critério de mapeamento em campo.

Figura 10 - (a) Contato por falha colocando lado a lado minério de ferro e máfica.; (b) sill de máfica decomposta em contato concordante com hematitito friável. (c) Afloramento evidenciando alteração das rochas máficas. (d) Afloramento de rocha máfica são muito fraturada. (e) Detalhe para amostra de basalto, mina de N4WN.



4.4 Geologia Local

O trabalho de conclusão de curso colaborou para a elaboração de um mapa geológico com as unidades interpretadas em campo e a atualização do mapa geológico de mina. As unidades cartografadas foram Formação Carajás e Formação Parauapebas, ambas pertencentes ao grupo Grão-Pará (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Mapa Geológico da área de estudo.

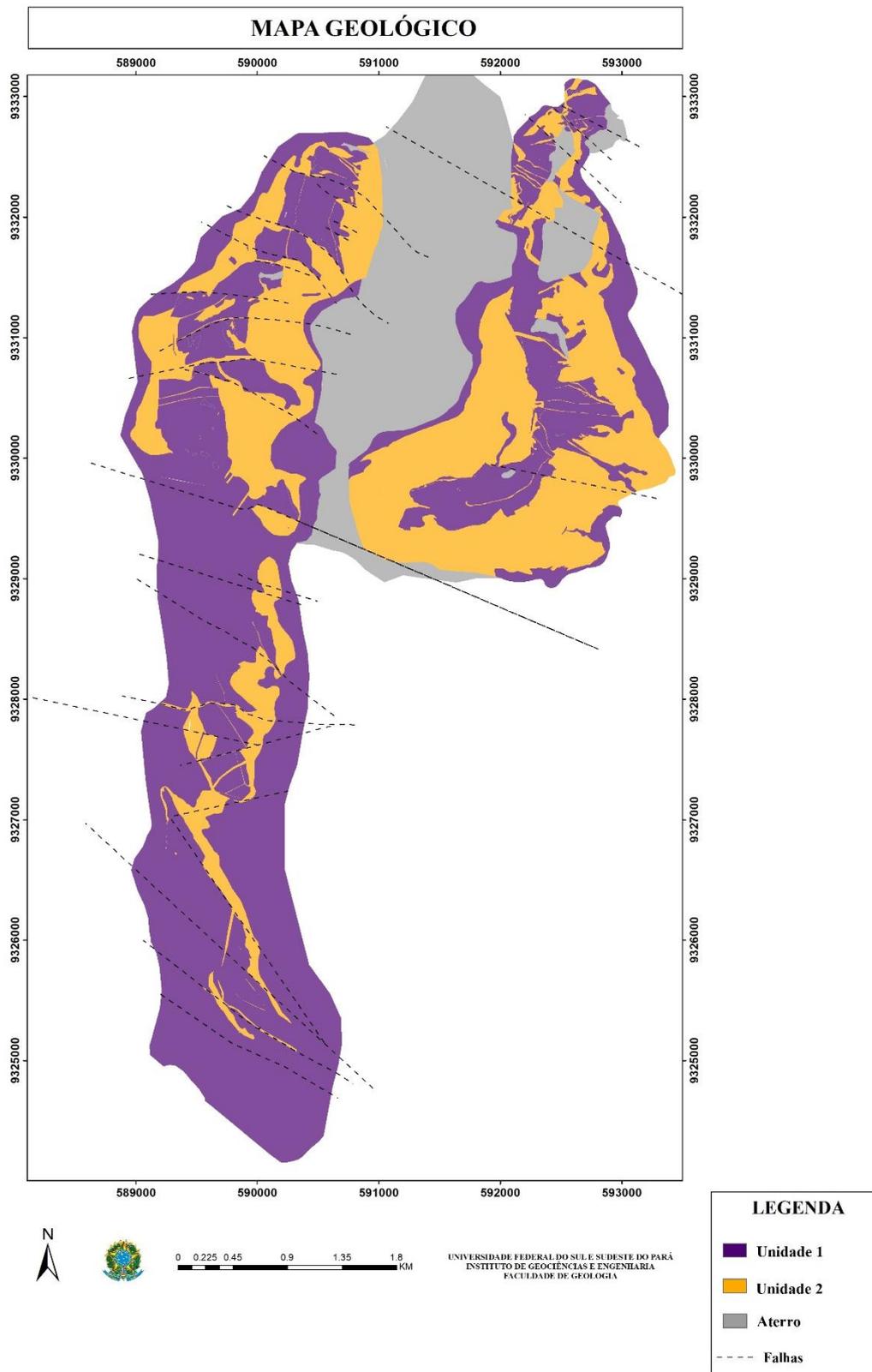
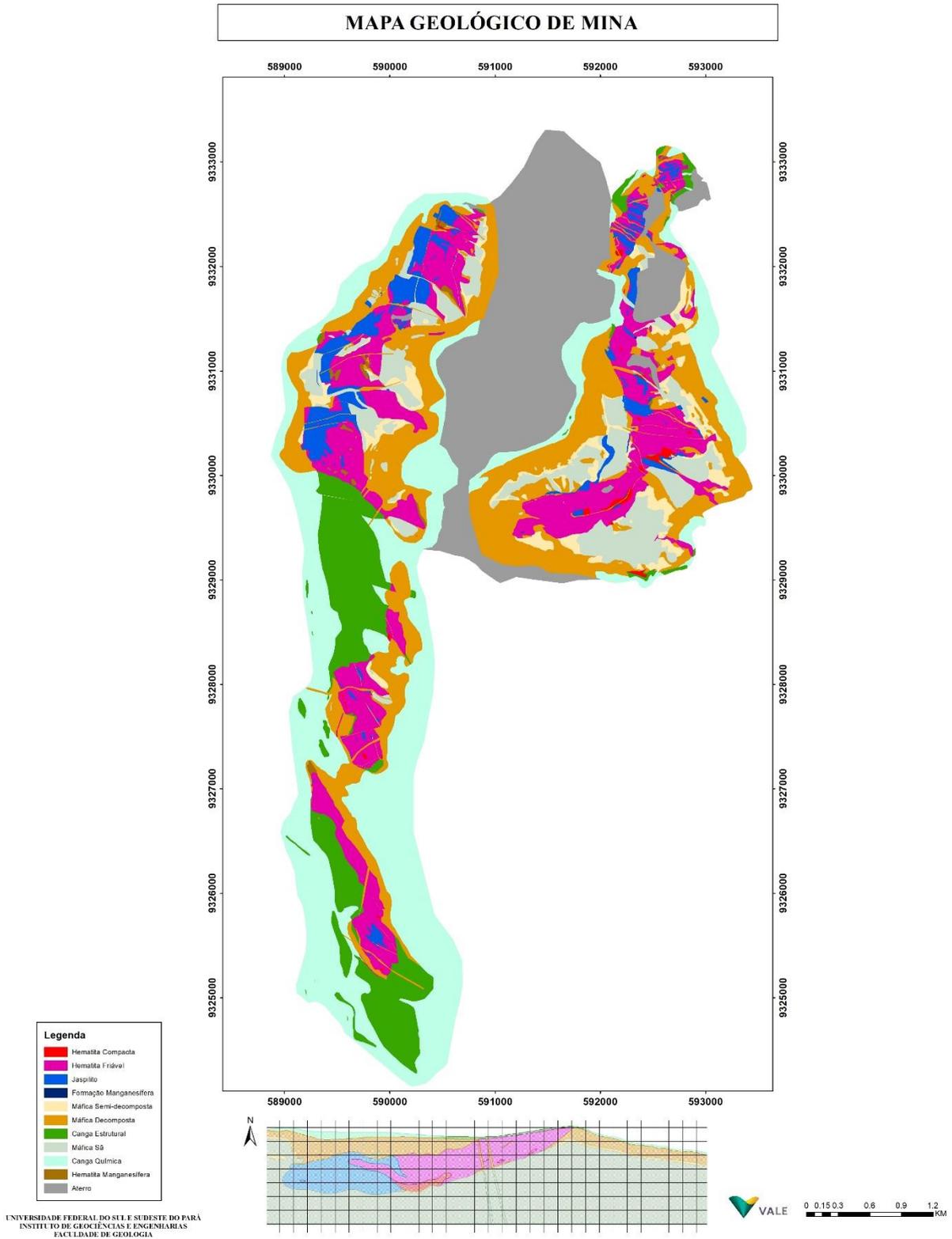


Figura 12 - Mapa Geológico de mina; Eixo N4.



Capítulo 5: Geología Estructural

Capítulo 5 - Geologia Estrutural

5.1 Introdução

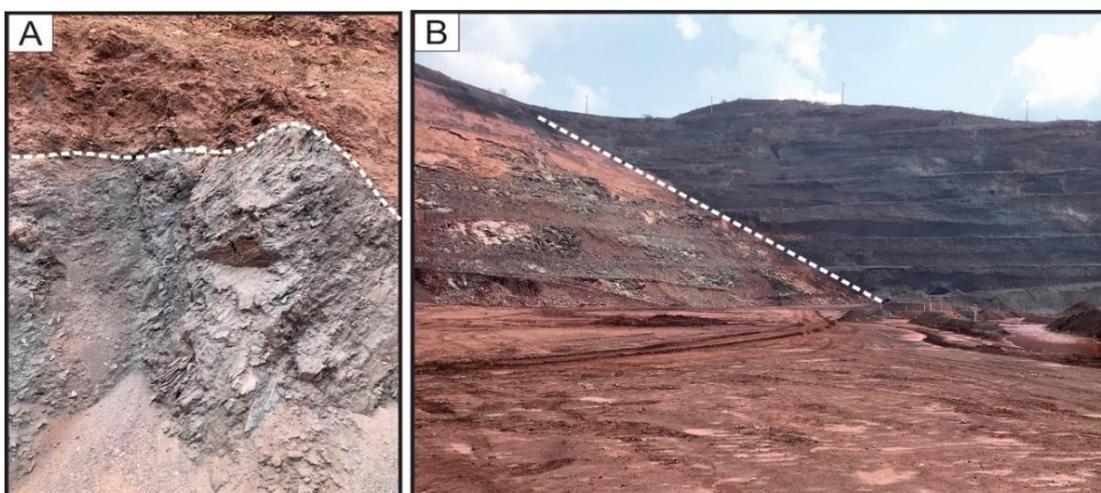
Neste capítulo serão descritas as principais estruturas observadas em campo, tal como as relações que as mesmas apresentam. Dentre estas estruturas se destacam: (5.2.1) os contatos litológicos; (5.2.2) as dobras; (5.2.3) os conjuntos de fraturas e falhas; e (5.2.4) diques. Ainda neste capítulo será abordado a evolução estrutural dos eventos deformacionais e análise cinemática.

5.2.1 Contatos Litológicos

Os contatos litológicos visualizados na área de estudo foram caracterizados e devidamente classificados em contatos concordantes e contatos por falha. Em relação aos contatos concordantes entre rochas vulcânicas e rochas ferríferas, normalmente apresentam médio ângulo, estes provavelmente representam feições pouco deformadas, sugerindo deformações de caráter regional, visto que conformam dobras abertas, nestes contatos, sem a geração de uma foliação penetrativa nas encaixantes, preservando parcialmente algumas das características da deposição dessas rochas, visto que as formações ferríferas apresentam um grau de deformação mais intenso que as basaltos nestes contatos, apresentando dobras diversas. Os contatos concordantes ondulados, por sua vez, podem ser vistos como feições dobradas.

Os contatos por falha são presentes em todas as minas do Eixo N4 e geralmente estão orientados segundo as direções predominantemente NNW-SSE, NE-SW, e em algumas ocasiões N-S, seguindo as orientações do quadro regional.

Figura 13 - (a) Contato concordante, ondulado entre rocha máfica decomposta e minério de ferro; (b) Contato por falha colocando máfica e minério em mesmo nível.



5.2.2 Dobras

As dobras presentes nas rochas do eixo N4, Serra Norte, estão desenhadas em escalas desde centimétricas, métricas a quilométricas. Isoclinais e dobras cerradas são evidenciadas nas formações ferríferas devido a um caráter reológico mais susceptível a deformação, enquanto dobras suaves estão impressas nas relações de contatos normais evidenciadas por essas dobras. As dobras nas formações ferríferas, de maneira geral, são reclinadas, assimétricas, com um flanco com mergulho suave e outro com mergulho alto. As dobras centimétricas, particularmente, se mostram fechadas a isoclinais, por vezes do tipo kink ou chevron. Têm eixos com caimento médio de 30° - 40° , preferencialmente para NW indicando encurtamento NE-SW. Seus planos axiais estão orientados na direção NW-SE com mergulhos tanto para NE quanto para SW.

Figura 14 - (a) Afloramento situado na mina de N4WN; (b) Detalhe para dobramento em conjunto da Formação Ferrífera e sill. (c) Detalhe para dobra assimétrica na Formação Ferrífera. (c) Esquema segundo Fossen mostrando dobras em Z, M e S em comportamentos reológicos distintos.

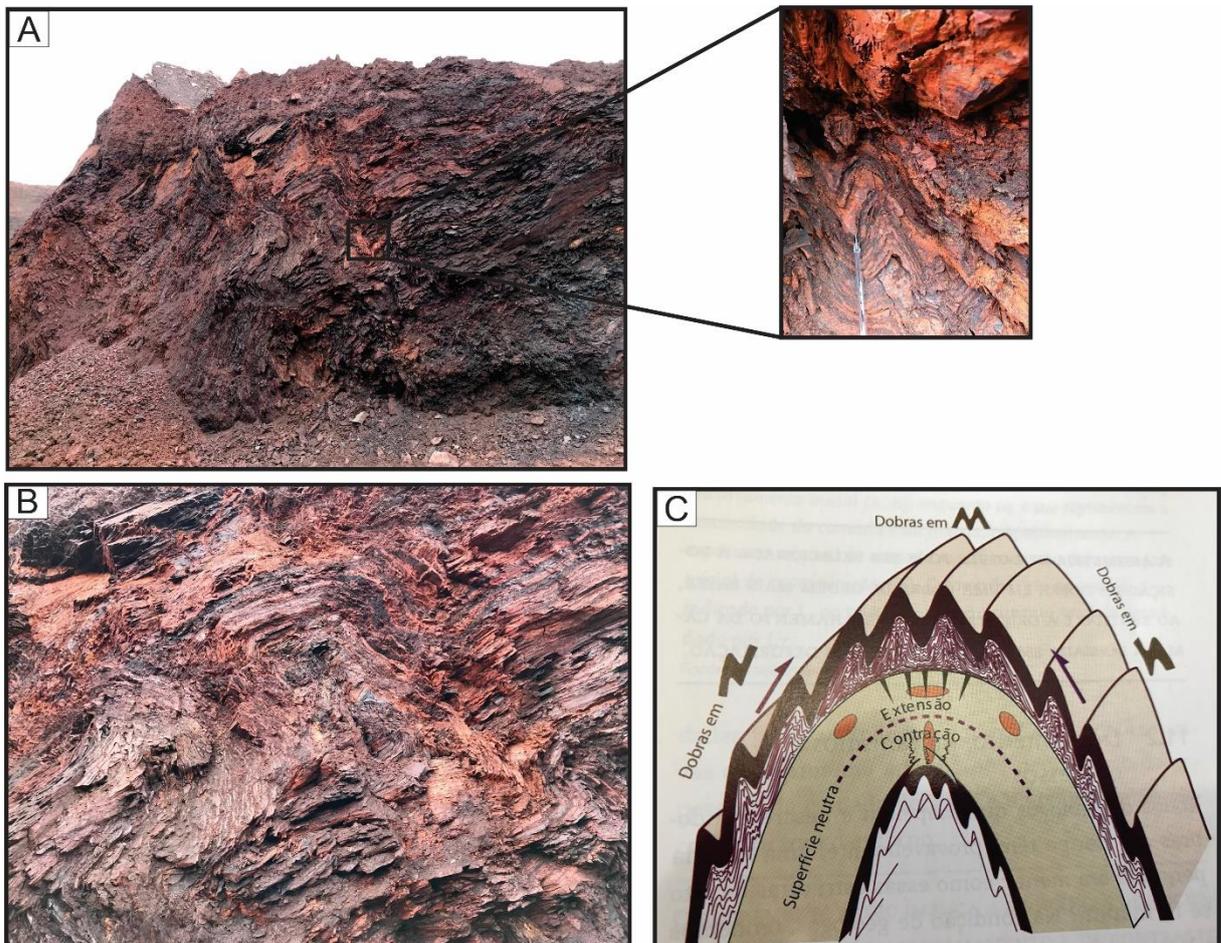
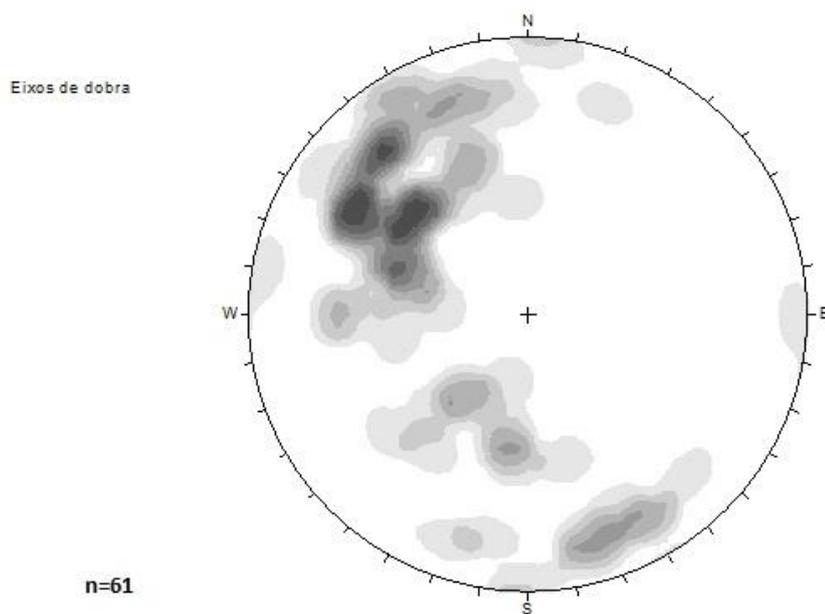


Figura 15 - Distribuição estatística dos polos de b do Grupo Grão-Pará plotados no hemisfério inferior do Estereograma de Schmidt-Lambert evidenciando encurtamento preferencial na direção NE-SW.

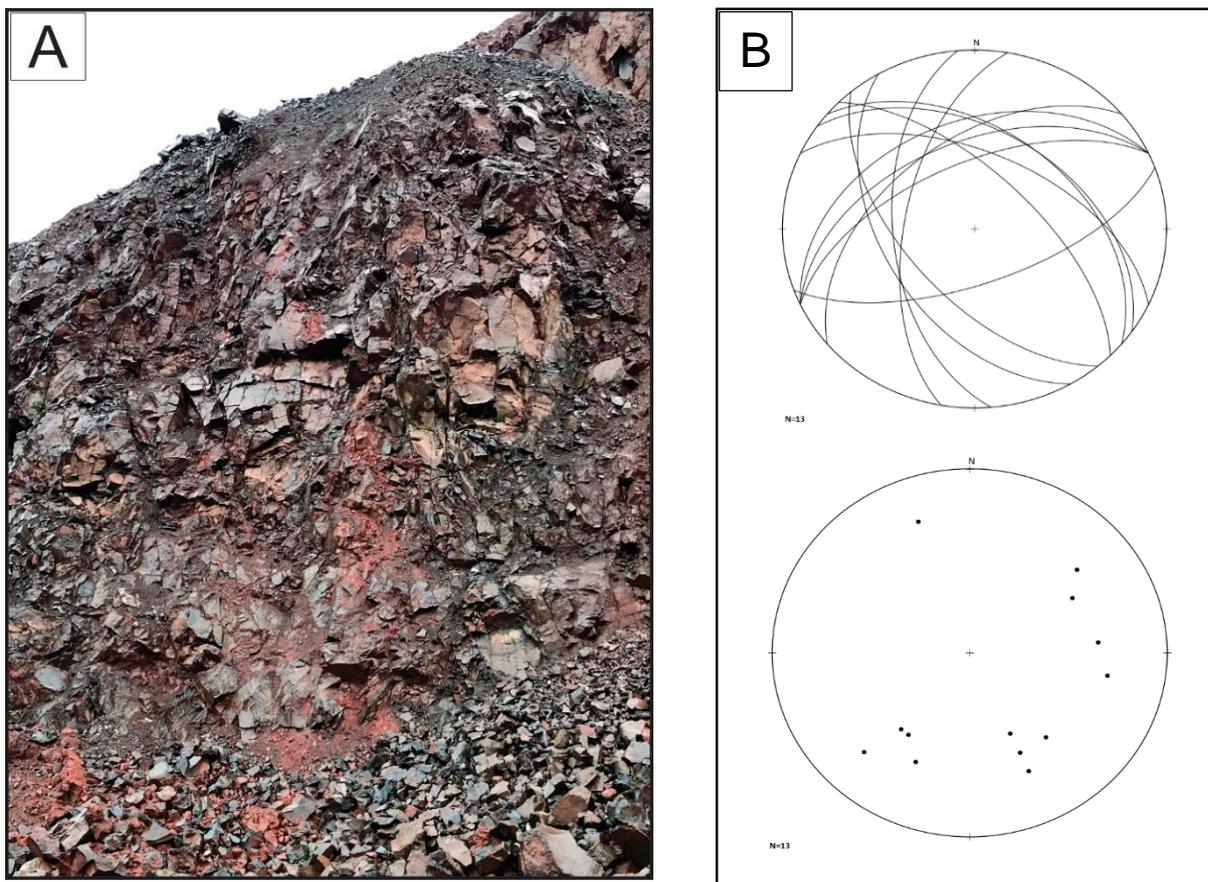


5.2.3 Fraturas e Falhas

Na área mapeada, as fraturas são mais evidentes nas rochas vulcânicas e jaspelitos; as fraturas observadas nestas apresentam-se em diferentes escalas, desde conjuntos centimétricos até fraturas com dezenas de metros. Nos hematíticos, as fraturas são menos evidentes, observadas isoladamente em escala centimétrica.

As atitudes de fraturas medidas em campo representadas em estereograma através de seus pólos mostram uma forte dispersão (Fig. 16B).

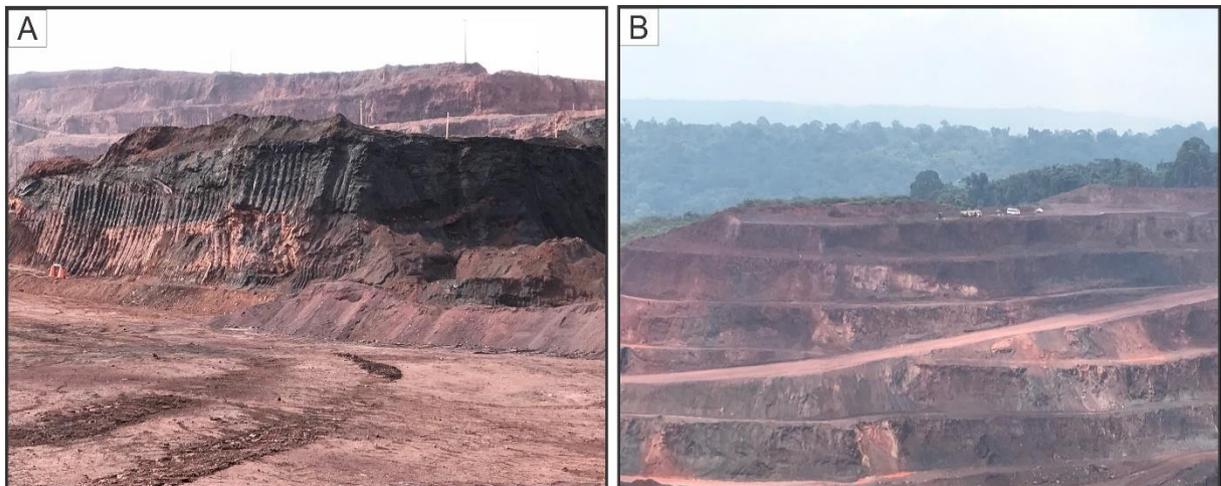
Figura 16 – (a) Basalto fortemente fraturado, mina de N4WN; (b) Estereograma de planos e pólos mostrando dispersão do faturamento nas rochas máficas.



5.2.4 Diques

Os corpos de rochas básicas que cortam o minério de ferro se mostram normalmente alterados por intemperismo. Os diques apresentam cor vermelha amarelada exibindo aspecto maciço isotrópico. Há dois tipos de intrusões máficas presentes nas minas do eixo N4: 1) sills deformados juntamente com o minério de ferro; 2) diques tabulares truncando o acamamento (Fig. 13B), deformados juntamente com a formação ferrífera (?), pressupondo estes serem a fonte dos sills, e deformados pelos cisalhamentos ocorridos, preferencialmente nos planos que os contém. Esses diques máficos estão dispostos seguindo o trend WNW-ESS, NNE-SSW.

Figura 17 - (a) Contato concordante entre hematitito friável e rocha máfica alterada (sill); (b) Dique de rocha máfica decomposta truncando o acamamento do minério de ferro.



5.3 Evolução Estrutural dos eventos deformacionais

A partir da análise estrutural foi possível distinguir três eventos deformacionais, discriminados em 3 fases distintas (Tabela 5).

Tabela 5 - Quadro sumário das deformações que afetam as rochas e respectivas estruturas na área.

<i>Fase</i>	<i>Natureza da deformação</i>	<i>Estruturas</i>
D1	Dúctil	Dobras
D2	Rúptil	Falhas e Fraturas
D3	Dúctil-Rúptil	Falhas e Fraturas

5.3.1 Estruturas da Fase D1

As dobras D1 são as estruturas compressivas indicando encurtamento regional NW-SE observadas tanto nos basaltos quanto nas formações ferríferas, sendo mais penetrativas nessas últimas, possivelmente relacionadas à nucleação da Dobra de Carajás. Estando os sills, deformados com esta mesma estruturação.

5.3.2 Estruturas da Fase D2

A Fase D2 é caracterizada por falhas normais e lineamentos estruturais de direção WSW-ENE; NW-SE e N-S que cortam todas as unidades e truncam as estruturas das fases anteriores. Sendo as estruturas WSW-ENE normalmente preenchidas por diques.

5.3.3 Estruturas da Fase D3

As estruturas da fase D3 são representadas por deformações sobre os planos observados na fase D2. Esta deformação é caracterizada por zonas de cisalhamento sobre os diques e planos de falhas, evidenciando uma reativação deformacional preferencialmente sobre as suturas previamente estabelecidas por deformações anteriores de caráter compressivo.

5.4 Análise Cinemática

A identificação do deslocamento dos blocos é marcada e bem definida pela configuração das minas e cavas, a atividade de identificação da cinemática não é tão fácil, visto que os mesmos são marcados por estrias (*slickensides*) indicando deformação rúptil, cisalhamentos indicando deformação dúctil-ruptil que para definir sua cinemática e fases há necessidade de detalhamento das mesmas. O estudo da cinemática do presente trabalho foi facilitado devido a exposição da condição de mina e a partir da análise geométrica obtida através da observação de imagens de satélite e fotografias aéreas das cavas (figuras 19 e 20).

Apesar da escassez de indicadores cinemáticos, as falhas e zonas de cisalhamento mapeadas indicam uma cinemática dextral. A geometria das cavas e minas do eixo N4 corroboram esta informação.

Figura 18 - Fotografia aérea evidenciando a divisão das cavas de N4WS por falhamento. Visada para sul.



Figura 19 - Fotografia aérea evidenciando movimentação dextral na mina de N4WN. Visada para NE.



Capítulo 6: Conclusões e Recomendações

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações

6.1 Interpretação Tectônica para a Região

Com base nas informações obtidas a partir da leitura e interpretação de sensores remotos e mapeamento de campo elaborado com base na análise geométrica e cinemática integrada dos dados estruturais, propõe-se neste capítulo a apresentação de um quadro evolutivo tectono-estrutural, abrangendo particularmente as rochas vulcânicas e ferríferas do Grupo Grão-Pará, aflorantes na Serra Norte. Em relação a gênese da bacia pode-se afirmar que existem diferentes correntes de pensamentos ligados a discussão.

Macambira (2003) afirma que essa bacia teria seguido a evolução próxima a de um tipo “rift abortado” e, então, a estrutura sigmoidal corresponderia à bacia original, posteriormente deformada e que a partir de um rifteamento intracontinental deu-se o primeiro de quatro estágios da evolução e preenchimento da bacia a partir do vulcanismo basáltico toleítico envolvendo processos de contaminação crustal. A seguir as rochas das formações ferríferas se depositaram sobre um ambiente de plataforma continental marinha de grande extensão, calma e influenciada pela ressurgência de águas ricas em ferro e sílica. Por fim houve um último derrame basáltico, este de idade 2.74 Ga (U-Pb em zircão), que recobriu as rochas ferríferas. Pode-se afirmar que a proposta de Macambira não é unanimidade no meio acadêmico. Alguns autores discordam do ambiente plataformal devido as poucas evidências dos demais ambientes dessa plataforma. (Pinheiro, 1997; Pinheiro e Nogueira, 2003) afirmam que a feição hoje exposta pode se tratar de restos dessa bacia maior preservada por subsidência em regime de transtensão destal, dentro da estrutura atualmente exposta.

O presente trabalho não teve por objetivo entrar em detalhamento sobre o ambiente em que se depositaram as rochas, restringindo-se apenas a interpretações estruturais e eventos deformacionais que afetaram as rochas do Grupo-Grão-Pará. Em termos estruturais, conclui-se que as rochas ferríferas foram depositadas e passaram por pelo menos três eventos deformacionais; o primeiro de caráter dúctil representa dobramento relacionado ao encurtamento NE-SW. Posterior ao primeiro evento, têm-se a deformação D2, que foi interpretada como um evento distensivo marcado por fraturamentos e falhamentos e colocação das rochas intrusivas mapeadas e descritas neste trabalho. Como terceiro evento deformacional interpretado, têm-se relacionado a zonas de cisalhamento que deformam as rochas e estruturas interpretadas como da fase D2. Sabe-se que esta atuou na deformação tanto das formações ferríferas quanto nas rochas máficas da Formação Parauapebas; em campo nota-se diques e sills de rochas máficas decomposta foliadas, possivelmente pela atuação do evento D3.

O presente trabalho não identificou outros critérios para a classificação de mais eventos deformacionais.

Em relação a análise estrutural este trabalho evidencia uma análise cinemática destal, o que não é corroborado pelos dados consultados, porém evidenciados pelos dados de campo.

6.2 Recomendações

O trabalho de conclusão de mapeamento estrutural ao longo todo eixo N4 da Serra Norte, é uma proposta um tanto ousada visto que as novas análises projetam uma avaliação cinemática diferente da abordagem atual. Trabalhos nesse sentido estão sendo desenvolvidos evidenciando essas observações de campo. Faz-se necessário a continuação dos estudos para a resolução destas questões que não foram abrangidas no presente trabalho.

Referências Bibliográficas

- Araújo, O.J.B., Maia, R.G. 1991. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. Projeto especial mapa de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás. Subprojeto Recursos Minerais. Serra dos Carajás, Folha SB.22Z-A. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral/DNPM – Companhia de Recursos Minerais/CPRM, 152 p
- Araújo, O.J.B., Maia, R.G., João, X.S.J., Costa, J.B.S. 1988. A mega-estruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: SBG/DNPM, Congresso Latino-Americano de Geologia, 7, Belém, Anais, 1: 324-328
- Arcanjo, J. B. A., Fotogeologia – conceitos, métodos e aplicações. 2011. 146 p. DEGEO – Departamento de Geologia / CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Salvador, 2011. Anais ... INPE
- Barros, C.E.M. 1997. *Pétrologie et structure du Complexe Granitique Estrela (2.5 Ga) et son encaissant métavolcano-sédimentaire (Province Metallifere de Carajás, Brésil)*. Tese de Doutorado, Université Henri Poincaré, Nancy.
- Beisiegel, V.R., Bernardelli, A.L., Drummond, N.F., Ruff, A.W., Tremaine, J.W. 1973. Geologia e Recursos Minerais da Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 3: 215-242
- Cunha, B.C.C. da, Santos, D.B. dos, Prado, P. 1984. Contribuição ao estudo da estratigrafia da região dos Gradaús, com ênfase no Grupo Rio Fresco. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, Anais, 2: 873-885
- DALL'AGNOL, R., M. A. OLIVEIRA, J. A. C. ALMEIDA, F. J. ALTHOFF, A. A. S. LEITE, D. C. OLIVEIRA & C. E. M. BARROS, 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian craton. Abstracts of Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian craton 1: 99-150.
- Dardenne, M.A., Schobbenhaus, C., 2003. Depósitos minerais no tempo geológico e épocas metalogenéticas. In: Bizzi, L., Schobbenhaus, C., Vidotti, R.M., Gonçalves, J.H. (Eds.), *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. CPRM, Brasília, pp. 365e447.
- DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, Anexo aos Anais, p. 11-54.

- Domingos et al. Geometria, cinemática e história tectônica das rochas da Serra Norte, Carajás-PA. Dissertação de mestrado, UFPA.
- Grebby et al. 2011. Integrating airborne multispectral imagery and airborne LiDAR data for enhanced lithological mapping in vegetated terrain. *Remote Sensing of Environment*, Volume 115, Issue 1, 17 January 2011, Pages 214-226.
- Grebby et al. 2012. Application of airborne LiDAR data and 2 airborne multispectral imagery to structural mapping of the upper section of the Troodos ophiolite, Cyprus Stephen Grebby*, Dickson Cunninghama, Jonathan Nadenb, Kevin Tansey.
- Gibbs, A.K., Wirth, K.R., Hirata, W.K., Olszewski Jr., W.J. 1990. Age and composition of the Grão-Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, 16: 201211
- Grainger, C.J., Groves, D.I., Tallarico, F.B., Fletcher, I.R. 2007. Metallogenesis of the Carajás Mineral Province, Southern Amazon Craton, Brazil: Varying styles of Archean through Paleoproterozoic to Neoproterozoic base- and precious-metal mineralisation. *Ore Geology Review*, doi: 10.1016/j.oregeorev.2006.10.010
- Grohmann, C. H.; Riccomini, C.; Steiner, S. S. Aplicação dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. *Rev. Geogr. Acadêmica*, v.2, n.2: p. 73-83, 2013.
- HARTWIG, M. E.; RICCOMINI, C. Análise Morfotectônica da Região da Serra dos Órgãos, sudeste do Brasil. *Revista brasileira de geomorfologia*. São Paulo. v. 11. n 1. p. 21 - 30. 2013.
- Huhn, S.R.B., Santos, A.B.S., Amaral, A.F., Ledshan, E.J., Gouveia, J.L., Martins, L.P.B., Montalvão, R.G.M., Costa, V.G. 1988. O terreno “granito-greenstone” da região de Rio Maria – sul do Pará. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, Anais, 3: 1438-1452
- Leite A.A.S. 2001. Geotectônica, petrogenese e evolução estrutural dos granitoides arcaicos da região de Xinguara, SE do Craton Amazônico. Tese de Doutorado. Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belem, 330p.
- Lindenmayer Z.G., Fyfe, W.S. 1992. Comparação preliminar entre os metabasaltos dos grupos Parauapebas e Salobo da bacia Carajás, PA. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Anais, 2: 33-34

- MACAMBIRA, J. B., MACAMBIRA, M. J. B., MOURA, C. A. V., GAUDETTE, H. E. & SOUZA, A. C. C. 1990. A Faixa de Dobramentos Araguaia (TO): novos dados geocronológicos. In: Congresso Brasileiro de Geologia 36, Natal, Anais, 5. Sociedade Brasileira de Geologia, 2550–2563.
- Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás: síntese dos dados e novos desafios. /Jol. Mus. Par. Emilio Goeldi. Cumc. da 'terra, 7:263-288
- Machado, N., Lindenmayer, Z., Krogh, T.E., Lindenmayer, D. 1991. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, Brazil. *Precambrian Research*, 49: 329-354
- Nogueira, A.C.R. 1995. Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, região central da serra dos Carajás – PA. Tese de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 168p.
- Nogueira, A.C.R., Truckenbrodt, W., Costa, J.B.S., Pinheiro, R.V.L. 1994. Análise faciológica e aspectos estruturais da Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 4, Belém, Boletim 2: 363-364
- Paradella et al. 2013. Técnicas de interferometria radar na detecção de deformação superficial utilizando dados orbitais. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE
- Pinheiro R.V.L., Holdsworth R.E. 2000. The Anatomy of shallow – crustal transpressional structures: insights from the Archaean Carajás fault zone, Amazon, Brazil. *Journal of Structural Geology*, 22: 1105-1123
- Pinheiro R.V.L., Holdsworth R.E. 1997b. The structure of the Carajás N-4 ironstone deposit and associated rocks: relationship to Archaean strike-slip tectonics and basement reactivation in the Amazon region, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 10: 305-319

- Ricci & Carvalho (2006). Rocks of the Pium-Area, Carajás Block, Brazil—A deep seated high-T gabbroic pluton (charnockitoid-like) with xenoliths of enderbitic gneisses
- Rodrigues, E., Lafon, J.M., Scheller, T. 1992. Geocronologia Pb-Pb da Província Mineral de Carajás: Primeiros resultados. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 37, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos, p. 183-184
- Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Cunha, M.P., Menezes, R.C.L. 2005. Idade Pb-Pb e aspectos petrológicos da mineralização em sodalita azul no Maciço Nefelina-Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia. *Rev. Bras. Geoc.*, 34. (No prelo).
- Rosière, C.A., Seoane, J.C.S., Baars, F.J., Lobato, L.M. 2004. Estruturação da província de Carajás e sua influência na mineralização de ferro, PA. In: ADIMB, Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, CD-ROM
- Rosière, C.A., Baars, F.J., Seoane, J.C.S., Lobato, L.M., Lopes, L., Souza, S.R.C. 2005. Structure and iron mineralization in the Carajás Province. In: *Proceedings Iron Ore 2005*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Publication Series No 8/2005, Perth, Australia, 143-150
- Rosière, C.A., Baars, F.J., Seoane, J.C.S., Lobato, L.M., Silva, L.L. da, Souza, S.R.C. de, Mendes, G.E. 2006. Structure and iron mineralisation of the Carajás Province. *Applied Earth Science*, 115: 126-133
- Santos, D.K.C; Oliveira, D.C. 2010, Geologia, petrografia e estratigrafia da Sequência Greenstone Belts do Grupo Sapucaia e rochas associadas da região de Nova Canadá, sudeste do Pará, Província Mineral de Carajás, Cráton Amazônico. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 45, Anais, Belém, CDrom.
- Silva, G.G., Lima, M.I.C., Andrade, A.R.F., Issler, R.S., Guimarães, G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC22 Tocantins. In: *Levantamento de Recursos Minerais, Projeto Radam*. Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM
- Teixeira AS, Ferreira Filho CF, Della Giustina MES, Araújo SM, Silva HHAD (2012) Geology, Petrology and Geochronology of the Lago Grande Layered Complex: Evidence for a PGE-Mineralized Magmatic Suite in the Carajás Province, Brazil. Submitted to *Ore Geol Rev*

- 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. (eds.), Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil, Companhia de Recursos Minerais/CPRM, p.169-226
- Silva, G.G., Lima, M.I.C., Andrade, A.R.F., Issler, R.S., Guimarães, G. 1974. Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC22 Tocantins. In: Levantamento de Recursos Minerais, Projeto Radam. Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM
- Vasquez M.L. e Klein E.L. 2005. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. Geologia e recursos minerais da folha Rio Novo (SB.21-Z-C). Estado do Pará. Escala 1:250.000. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, (Nota explicativa, em CD-ROM).
- Vasquez M.L., Sousa C.S., Carvalho J.M.A. (Orgs.). 2008a. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil, Belém, CPRM, [CD-ROM].
- Vasquez M.L., Rosa Costa L.T., Silva, C.M.G., Klein E.L. 2008b. Compartimentação Tectônica. In: M.L. Vasquez & L.T.E. Rosa-Costa (Orgs.) 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. p. 39-112.

Figura 20 - Mapa de pontos avaliados e levantados.

