

MALU MILLENA MARTINS FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA SEQUÊNCIA
METASSEDIMENTAR DA MINA AURIZONA (MA)**

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

Orientador: Prof. Dr. Roberto Vizeu
Lima Pinheiro.

Belém

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus pais, Niza e Leno, por todo auxílio, dedicação e, sobretudo, amor e confiança de que eu me tornaria a pessoa que merecesse tudo o que foi (e que ainda é) feito por mim. E, principalmente, obrigada por sempre apoiarem todas as minhas escolhas.

Ao meu irmão Renato por ser o melhor *roommate* que alguém pode ter, pelas conversas e amizade. À caçula da família, Teodora, que chegou muito depois, mas muitas vezes foi o motivo do único sorriso que tive no dia.

Aos meus ilustres e estimados amigos do “Cabou a validade”, Enzo, Rayleno, Ronny, Faro, Ivinny, Vitor, Alexandre e Layse, que sempre foram extremamente solícitos nos incontáveis momentos sombrios que tivemos durante o curso. Todos esses momentos seriam muito piores ou impossíveis sem a amizade de vocês. Também gostaria de agradecer a todos os meus colegas da turma de 2012, os originais e os agregados, pelas histórias e principalmente pelas ‘massas’.

Meu imenso agradecimento à empresa Luna Gold Corp. pela oportunidade e suporte. Aos funcionários da Mineração Aurizona pelo apoio durante a fase de campo, sobretudo ao Geólogo Luiz Daniel Alencar.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Vizeu, por ter sido um excelente professor, por ter me acolhido no GES e por toda orientação durante este trabalho.

Ao Prof. Francisco Matos, meu orientador de iniciação científica, por todos os ensinamentos, conselhos, conversas e “puxões de orelha”.

Gostaria também de agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse possível: amigos que fiz ao longo da vida e familiares, principalmente minha avó, Dona Bené, por saber o peso que a educação tem na vida de alguém.

Aos motoristas do IG e da UFPA, por toda dedicação e suporte oferecido aos alunos durante todo curso de geologia, principalmente nas disciplinas de mapeamento geológico.

“...It’s not that I don’t feel the pain,
it’s just I’m not afraid of hurting anymore...”

- Paramore.

RESUMO

A Mina Aurizona localiza-se na região nordeste do Brasil, porção litorânea noroeste do estado do Maranhão, no município de Godofredo Viana. A Mina está inserida no contexto geológico do Cráton São Luís, mais especificamente no Grupo Aurizona. O Cráton São Luís é interpretado como fragmento da porção sul do Cráton Oeste Africano, que ficou na Plataforma Sul-Americana após a fragmentação do supercontinente Gondwana. As rochas do Grupo Aurizona compreendem uma sequência metavulcanossedimentar, compostas por tufos, riolitos, metamáficas, xistos e filitos, intrudidos pelas rochas plutônicas da Suíte Tromaí. As rochas expostas na Mina Aurizona compõe uma sequência metavulcanossedimentar, composta por metarritmitos, metagrauvacas, metacherts e metavulcânicas de composição félsica, cordada por diques e veios de diferentes estágios de colocação. As rochas metassedimentares apresentam acamamento primário (S_0) bem preservado, o qual tem direção preferencial NE-SW e ângulo de mergulho subvertical, variando entre 70° e 85° para NW e se mantêm constante em ambas as abas da Cava. Nas rochas metassedimentares foi desenvolvida uma foliação secundária, caracterizada pela clivagem espaçada (S_1), a qual tem direção preferencial 130° Az na Aba Sul e 050° Az na Aba Norte. Uma terceira foliação (S_2) se desenvolveu devido a instalação de bandas de cisalhamento, subconcordantes ao acamamento primário. Ao longo dessas bandas de cisalhamentos são formadas dobras intrafoliais de arrasto com rotação destrai. Essas rochas passaram ainda por deformação rúptil, que gerou falhas normais, inversas e direcionais. Embora a presença da clivagem possa indicar dobras, não foram encontradas evidências mais diretas das mesmas. A associação de rochas vista na mina é semelhante a uma sequência de *greenstone* proterozoico e podem indicar uma possível correlação com as rochas do Supergrupo Birimian, no Cráton Oeste Africano.

Palavras Chave: AURIZONA, SEQUÊNCIA METAVULCANOSSEDIMENTAR; CRÁTON SÃO LUÍS.

ABSTRACT

The Aurizona Mine is located in northeastern Brazil, coastal northwestern portion of the state of Maranhão, in the Godofredo Viana town. The mine is part of the geological context of the São Luís Craton, specifically in Aurizona Group. The São Luís Craton is interpreted as a fragment of the southern portion of the West African Craton which remained in the South American Platform after the fragmentation of the supercontinent Gondwana. The rocks of the Aurizona Group comprise a metavulcanosedimentary sequence composed by tuffs, rhyolites, metamafic, schists and phyllites, intruded by Suite Tromai's plutonic rocks. The exposed rocks in the Aurizona Mine are part of a metavulcanosedimentary sequence composed by metarhyolites, metagraywackes, metacherts and metavolcanic rocks with felsic composition, cut by dikes and veins of different stages of placement. The metasedimentary rocks have primary bedding (S_0) well preserved, which has preferred direction NE-SW and subvertical dip angle ranging between 70° and 85° NW and remains constant in both sides of the hole. In the metasedimentary rocks was developed a secondary foliation, characterized by spaced cleavage (S_1), which has preferred direction 130° Az in the southern side of the hole and 050° Az in the northern side. A third foliation (S_2) developed due to the installation of shear bands, sub concordant to the primary bedding. Along these shear bands are formed intrafoliation drag folds with dextral rotation. These rocks also underwent brittle deformation, which generated normal, inverse and directional failures. Although the presence of cleavage can indicate folds, no clear evidence of folds was found. The rock association seen in the mine is similar to a proterozoic greenstone sequence and may indicate a possibly correlation with Birimian Supergroup's rocks in West African Craton.

Keywords: AURIZONA, METAVULCANOSEDIMENTARY SEQUENCE; SÃO LUÍS CRATON.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa de localização da área estudada, com destaque para a Mina Aurizona, localizada na porção NNE do estado do Maranhão.....13
- Figura 2** - Fluxograma para a sequência de etapas do trabalho, iniciando com o levantamento de acervo bibliográfico e cartográfico e finalizando com a elaboração de um relatório final contendo os resultados obtidos da integração de dados de campo com dados de sensoriamento remoto e geológicos da área de estudo em questão.16
- Figura 3** – Seção esquemática da sequência estratigráfica que caracteriza o *Greenstone* de Barberton, porção sul do continente africano.....19
- Figura 4** - Porção oeste do continente africano mostrando a relação de continuidade do Cráton Oeste Africano na Plataforma Sul-Americana, que após a fragmentação originou o Cráton São Luís.22
- Figura 5** - Mapa geológico simplificado da porção NNE do Brasil, onde está situado o Cráton São Luís. No mapa pode-se ver a distribuição geográfica das unidades cronoestratigráficas, sobretudo no entorno do depósito de Piaba, onde se concentra o trabalho.23
- Figura 6** – Porção oeste do continente africano mostrando a porção sul do Cráton Oeste Africano, constituído por rochas arqueanas cristalinas (Escudo Man) e *greenstones belts*. Além do embasamento arqueano existem também os *greenstones* e metassedimentares proterozoicas, dos Supergrupos Birrian e Tarkwaian, respectivamente, além da cobertura neoproterozoica/fanerozoica.26
- Figura 7** – (A) Diagrama de roseta das direções de lineamentos de drenagem, mostrando dois *trends* mais frequentes, WNW-ESE e secundariamente N-S, havendo também *trends* NW-SW. (B) Diagrama de roseta das direções de lineamentos de relevo mostra *trend* principal semelhante ao de lineamentos de drenagem embora haja uma variação para WNW-ESE e os *trends* secundários com direção N-S sejam menos expressivos. Nota-se também que o *trend* secundário mais frequente é NNE-SSW, também com variações NE-SW.28
- Figura 8** - Mapa de lineamentos extraídos a partir da drenagem.29
- Figura 9** - Mapa de lineamentos, extraídos a partir de feições lineares identificadas em imagens de relevo sombreado.30
- Figura 10** - Mapa com os lineamentos de relevo e drenagem da região do Gurupi, limite entre os estados do Pará e Maranhão.31

Figura 11 - Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos de relevo e de drenagem, mostrando direção preferencial NW-SE, com <i>trends</i> secundários principalmente na direção NNE-SSW.	31
Figura 12 – Mapa da Mina Aurizona com a distribuição geográfica dos principais litotipos e pontos descritos durante o trabalho de campo.	32
Figura 13 – Seção esquemática do Furo de Sondagem BRAZD 436, com profundidade máxima de 680 m, com ângulo de inclinação de 70° na direção 170°Az.....	34
Figura 14 - Estruturas primárias encontradas no acamamentos das rochas metassedimentares aflorantes na Mina Aurizona em (A) acamamento sedimentar no metarritmito e (B) clastos de argila.....	36
Figura 15 - (A) Acamamento sedimentar do metarritmito, na Aba Sul da cava, onde percebe-se os planos subverticais e com variações na direção, em arranjo anastomótico. (B) Acamamento sedimentar da metagrauvaca aflorante na porção SE da cava, com atitude 060 82/NW. (C) Acamamento sedimentar no metarritmito, na Aba Norte, com atitude 088 75°/NW.....	37
Figura 16 - (A) e (B) Aba Sul, onde o acamamento (S_0) tem direção 084 80/NW e a clivagem espaçada (S_1) tem direção 130° Az com mergulho subvertical. (C) e (D) Aba Norte, mostra a relação entre acamamento e clivagem, onde S_0 tem direção 096 70/NE e S_1 050 80/SE.	39
Figura 17 - (A) Visão em corte de banda de cisalhamento no metarritmito, localizado na Aba Norte, com planos de foliação milonítica subverticais e subconcordantes ao acamamento sedimentar. (B) Metarritmito milonitizado, localizado na Aba Sul. A proporção entre matriz e porfiroclastos é de aproximadamente 70% e 30%, respectivamente, caracterizando como milonito. Essa foliação ocorre em bandas de cisalhamento subconcordantes ao acamamento sedimentar.	40
Figura 18 - (A) Dobra simétrica formada na metagrauvaca na Aba Sul. (B) Dobras de arrasto formadas no metarritmito na Aba Norte. (C) e (D) Dobras intrafoliais assimétricas, fechadas, com forma em Z, com ângulo de caimento do eixo subvertical, associadas a bandas de cisalhamento transcorrentes no metarritmito aflorante na Aba Norte.	41
Figura 19 - Dobras intrafoliais assimétricas associadas a bandas de cisalhamento que deformam o acamamento do metarritmito. Os ângulos de caimento dos eixos de dobra são subverticais, indicando a predominância da transcorrência, com rotação destrai.....	42

Figura 20 - (A) e (B) Diques de coloração branca do grupo um (D1) discordantes ao acamamento na Aba Sul. A identificação dos diques é facilitada pela cor de alteração intempérica contrastante.	43
Figura 21 - (A) Contato por truncamento do dique (D1) com o metarritmito, na Aba Norte, onde são formados protoclastoclasitos vistos em (B) amostras de campo e (C) em amostras de testemunho de sondagem. (D) Esses diques também formam contatos abruptos com os metassedimentos.	44
Figura 22 - Diques do grupo 2 (D2) de coloração lilás de alteração intempérica, (A) discordantes e (B) subconcordantes ao acamamento dos metassedimentos na Aba Norte.....	44
Figura 23 - Veios de composição quartzo-carbonática presentes (A) nos diques D1 e D2 e nas (B) metassedimentares.	45
Figura 24 - Amostras de testemunho de sondagem do metarritmito, onde (A) a porção distal da deformação causada por hidrotermalismo, onde o acamamento é bem preservado. (B) Porção intermediária, onde o acamamento é rompido e ocorrem falhas com rejeito milimétricos (2 - 6 mm). (C) Zona central de deformação onde o acamamento é quase completamente obliterado.	46
Figura 25 - Falha de cavalgamento entre as metassedimentares formando dobras de arrasto que auxiliam na determinação da cinemática.	47
Figura 26 - (A) Falhas oblíquas deslocando diques (D2) e metassedimentares e (B) falha transcorrente com rotação destal, deformando as rochas metassedimentares na Aba Norte.....	48
Figura 27 – Relação entre zona de charneira de dobra e clivagem. A clivagem se desenvolve paralelamente ao plano axial da dobra (esquerda) ou em orientação de leque (<i>fan orientation</i>) na região da charneira.....	50
Figura 28 – Dobras formadas por deformação heterogênea em regime transpressivo, onde há mudança no sentido de mergulho dos eixos de dobra.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela da divisão da crosta em oceânica, transicional e continental, as quais são subdivididas em Tipos Crustais, segundo Condie (2002) e Neves (2008).	17
Tabela 2 - Classificação morfológica de foliação e clivagem.....	38

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	9
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 APRESENTAÇÃO	12
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	13
1.3 OBJETIVOS	14
2 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 CRÁTON	17
3.1.1 Escudos Pré-cambrianos e Plataformas	17
3.2 CINTURÕES OROGÊNICOS/FAIXAS MÓVEIS	18
3.3 GREENSTONES BELTS	18
3.3.1 Arqueanos	18
3.3.2 Proterozoicos	20
4 GEOLOGIA REGIONAL	22
4.1 CRÁTON SÃO LUÍS	22
4.1.1 Grupo Aurizona	24
4.1.2 Suíte Tromai	24
4.2 CRÁTON OESTE AFRICANO	25
4.2.1 Supergrupo Birimian	25
4.2.2 Supergrupo Tarkwaian	27
5 SENSORIAMENTO REMOTO	28
5.1 LINEAMENTOS DE DRENAGEM	28
5.2 LINEAMENTOS DE RELEVO.....	29
5.3 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS	30
6 GEOLOGIA DA MINA AURIZONA	32
6.1 DEPÓSITO PIABA.....	32
6.1.1 Rochas Encaixantes	32
6.1.2 Rochas Hospedeiras	33

6.2	FURO DE SONDAGEM	33
7	ANÁLISE ESTRUTURAL	35
7.1	FOLIAÇÃO	35
7.1.1	Acamamento Sedimentar (S_0)	35
7.1.2	Clivagem Espaçada (S_1)	37
7.1.3	Foliação Milonítica (S_2).....	39
7.2	DOBRAS	40
7.3	DIQUES.....	43
7.4	VEIOS.....	45
7.5	FALHAS	46
8	DISCUSSÕES.....	49
9	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	55
	ANEXOS	59

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

O Cráton São Luís está localizado na parte NNW do estado do Maranhão e é interpretado como parte de um orógeno acrescionário de idade Riacciana. A exposição das rochas do embasamento do cráton se dá a partir de janelas na cobertura fanerozoica da Bacia do Parnaíba. Estas rochas são de extrema importância na ocorrência e formação de depósitos de ouro, gerados em ambientes orogênicos (KLEIN et al., 2008b).

As atividades de exploração de ouro na região do Cráton São Luís permitiram a instalação de núcleos populacionais (HASUI, 2012), com garimpos que iniciaram no século XVII e ainda hoje estão em funcionamento. A modernização da exploração mineral tem acontecido desde a década de 1990 e atualmente é um dos principais polos de desenvolvimento regional (www.lunagold.com).

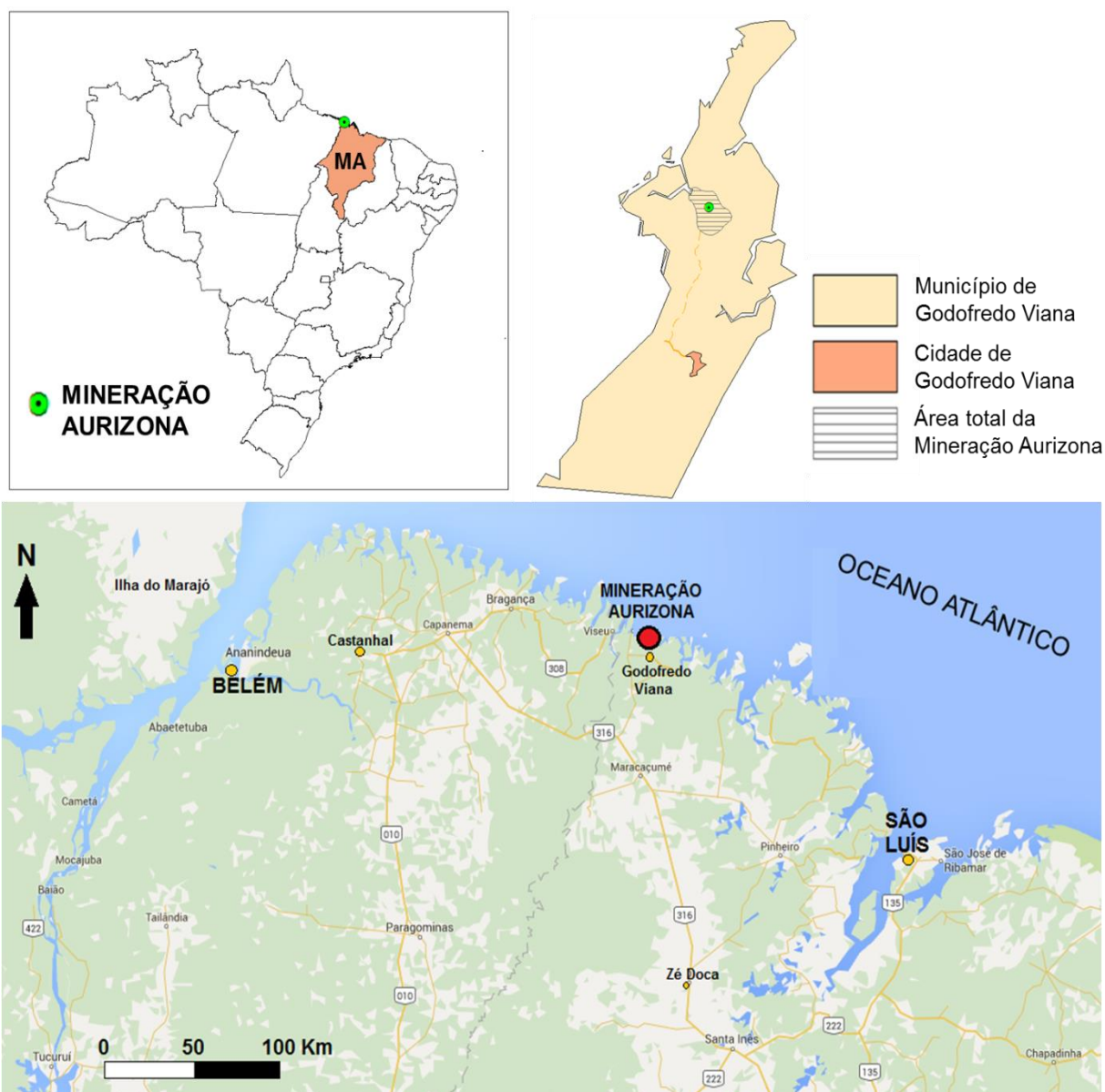
A Mina Aurizona compreende uma mina à céu aberto que pertence a Luna Gold Corp. A mina está localizada no Cráton São Luís, no litoral noroeste do estado do Maranhão, região norte do Brasil, e tem área total atual de aproximadamente 15 ha. O controle das atividades na Mina do Aurizona foi assumido pela Luna Gold Corp. em 2011 e até o presente momento foram identificados cinco depósitos, sendo estes, respectivamente em ordem decrescente de volume total, depósitos de Piaba, Tatajuba, Boa Esperança, Conceição e Ferradura, todos interpretados como de origem orogênica. Dentre os depósitos de ouro até agora identificados na área, o primeiro a ser explorado foi o Piaba, que apresenta reservas de 78.5Mt com teor médio de ouro de 1.39g/t, totalizando 108.5t de ouro (www.lunagold.com).

As rochas expostas na mina têm revelado a presença de sequências supracrustais, em volume cada vez mais considerável, no contexto do Cráton São Luís. Estas rochas se distribuem de maneira aproximadamente simétrica em mapa, ocupando a porção norte e sul do depósito. Essa configuração tem revelado duas questões importantes: (1) presença de rochas supracrustais pode ser vista como sequências individualizadas das rochas de alto grau que constituem o Cráton São Luís, e ainda pouco estudadas; (2) A presença de clivagem e a simetria cartográfica das rochas meassedimentares aflorantes na mina pode indicar a presença de dobras ou repetição de rocha por falhas. Essas questões serão abordadas como foco principal deste trabalho.

1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Mina Aurizona localiza-se na região nordeste do Brasil, porção litorânea noroeste do estado do Maranhão (Figura 1). A mina está no município de Godofredo Viana, à 15 km da sede do município e à aproximadamente 320 km de São Luís.

Figura 1 - Mapa de localização da área estudada, com destaque para a Mina Aurizona, localizada na porção NNE do estado do Maranhão.



1.3 OBJETIVOS

A) Geral

Este trabalho tem como objetivo principal estudar as tramas deformacionais presentes nas rochas expostas na Mina Aurizona para contribuir com o entendimento do padrão estrutural exibido, particularmente pelas rochas metassedimentares expostas na área da mina.

B) Específicos

Investigar, em escala de detalhe, a distribuição cartográfica das rochas expostas na Mina de Ouro de Aurizona.

Compreender a relação geométrica e estrutural entre deformação e formação do depósito, buscando resgatar informações sobre a história geológica local, de modo contextualizado ao quadro evolutivo tectônico regional do Cráton São Luís.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizado o levantamento e atualização do acervo bibliográfico e cartográfico referente à área em estudo. O acervo bibliográfico foi usado como base para o entendimento do conhecimento prévio da geologia da área onde o trabalho se desenvolveu.

A elaboração de mapas fotointerpretados foi feita a partir do Método Lógico e Sistemático, proposto por Soares e Fiori (1976) e complementado com técnicas de sensoriamento remoto de acordo com Gupta (2003) entre outros, utilizando recursos como fotografias aéreas e modelos digitais de elevação (MDE), gerados a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, NASA, 2000).

A partir do modelo digital de elevação foram extraídos lineamentos de relevo e drenagem, utilizados para caracterizar os *trends* regionais de possíveis estruturas geológicas que influenciem de alguma forma as rochas expostas na Mina Aurizona.

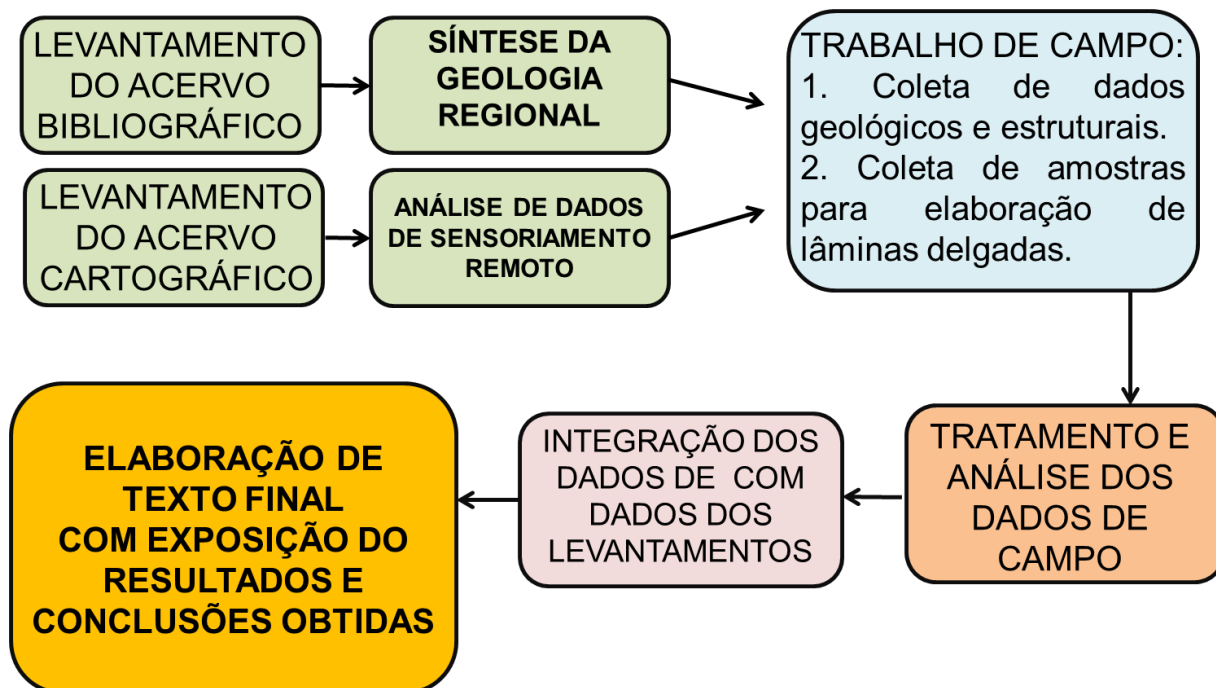
O trabalho de campo consistiu no mapeamento geológico-estrutural da parte da cava da Mina Aurizona, com coleta de dados estruturais e geológicos para e na elaboração de painéis e blocos diagrama de detalhe, em escala de afloramento.

Foram feitas descrições detalhadas dos afloramentos e coleta de dados geométricos indicativos da cinemática, incluindo as relações espaciais/temporais entre litotipos e estruturas, tais como foliações, lineações, estrias e ressaltos em planos de falhas, eixos de dobras, etc, de acordo com Coe et al. (2010), Barnes e Lisle (2013), entre outros.

O processamento de dados foi feito de acordo com técnicas básicas de mapeamento geológico em áreas deformadas, segundo principalmente Passchier et al. (1990), entre outros. As orientações espaciais das estruturas foram tratadas e interpretadas em estereogramas, usando o *software* OpenStereo 0.1.2., de domínio público. Os dados geológicos coletados foram tratados em ambiente cartográfico computacional, a partir dos *softwares* GooglePro e ArcGis 10.3, onde os dados foram gerados usando como referência o *datum* SIRGAS 2000. A seguir ocorreu a integração e complementação com mapas digitais de bases cartográficas preliminares, para a elaboração de um mapa geológico-estrutural.

As informações cartográficas, petrográficas e estruturais recolhidas tanto em campo quanto em análise de lâminas delgadas, foram integradas e utilizadas na elaboração deste texto.

Figura 2 - Fluxograma para a sequência de etapas do trabalho, iniciando com o levantamento de acervo bibliográfico e cartográfico e finalizando com a elaboração de um relatório final contendo os resultados obtidos da integração de dados de campo com dados de sensoriamento remoto e geológicos da área de estudo em questão.



3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A crosta é a porção superior e rígida da litosfera terrestre, localizada acima da descontinuidade de Mohorovicic. Ela pode ser dividida em três partes, sendo estas, oceânica, transicional e continental (CONDIE, 1989). Essas partes são subdivididas em Tipos Crustais, que são segmentos contínuos da crosta com características geológicas e geofísicas semelhantes (NEVES, 2008). Os principais parâmetros para diferenciar os tipos crustais são a espessura e a estrutura sísmica (CONDIE, 2002). Os tipos crustais são listados na Tabela 1, onde somente os crustais serão detalhados a seguir.

Tabela 1 - Tabela da divisão da crosta em oceânica, transicional e continental, as quais são subdivididas em Tipos Crustais, segundo Condie (2002) e Neves (2008).

	CROSTA OCEÂNICA	CROSTA TRANSICIONAL	CROSTA CONTINENTAL
TIPOS CRUSTAIS	Dorsais Oceânicas	Platôs Submarinos	Escudos Pré-cambrianos
	Bacias Oceânicas	Arco de ilha	Plataformas Continentais
	Ilhas Oceânicas	<i>Rifts</i> Continentais	Cinturões Orogênicos
	Fossas Oceânicas	Bacias <i>Inland-sea</i>	- - - - -
	Bacias de Retroarco	- - - - -	- - - - -

3.1 CRÁTON

O termo cráton é usado para se referir a porções tectonicamente estáveis da crosta continental, diferentemente das áreas instáveis adjacentes (faixas móveis) onde ocorre o processo de orogênese. Os crátons são orógenos antigos e isostaticamente positivos (CONDIE, 2002), estabilizados há pelo menos 1.0 Ga, segundo Pluijm e Marshak (2004) ou desde o início do Neoproterozoico (NEVES, 2008), embora na definição de Park e Jaroszewski (1994) a estabilidade deve ser maior que 100 Ma.

3.1.1 Escudos Pré-cambrianos e Plataformas

Os escudos são áreas tectonicamente estáveis com rochas que compõem o embasamento pré-cambriano (NEVES, 2008), com idades variando de 0.5 a 3.5 Ga,

que apresentam quase ou nenhuma cobertura sedimentar (CONDIE, 2002). São extensas áreas desnudadas da plataforma, onde as rochas cristalinas mais antigas, metamorfizadas, são expostas na superfície (BRITO NEVES, 2012). A maioria dessas rochas expostas são plutônicas e metamórficas, embora localmente os escudos apresentem rochas vulcânicas e sedimentares. Rochas pré-cambrianas incorporadas por cinturões orogênicos não são consideradas escudo (PLUIJM; MARSHAK, 2004).

As plataformas, assim como os escudos, são áreas tectonicamente estáveis, embora apresentem uma cobertura sedimentar que varia de 1 a 3 km de espessura (NEVES, 2008), mas em bacias intracratônicas podem alcançar de 5 a 7 km de espessura (PLUIJM; MARSHAK, 2004). Além desta cobertura sedimentar, a plataforma é composta pelo embasamento pré-cambriano semelhante ou igual ao exposto nos escudos (CONDIE, 2002). Assim, uma plataforma pode conter vários escudos, a exemplo da Plataforma Sul-Americana (NEVES, 2008). O embasamento cristalino da plataforma e os escudos constituem juntos o Cráton.

3.2 CINTURÕES OROGÊNICOS/FAIXAS MÓVEIS

Orogênese é o termo usado para descrever a criação de cadeias de montanhas. Embora seja mais comumente empregado para regiões onde o espessamento crustal ocorre em resposta à esforços compressivos, a formação de montanhas não está restrita a essas condições. Nos processos orogênicos estão normalmente envolvidos a deformação contracional, dobramentos, plutonismo, vulcanismo e metamorfismo regional. As regiões onde ocorrem estes processos orogênicos ocorrem como resposta à convergência de blocos litosféricos e são chamadas de faixas/cinturões orogênicos ou faixas móveis (NEVES, 2008). As faixas móveis (ou cinturões orogênicos) são províncias crustais, caracterizadas por regiões alongadas e curvilíneas resultante da deformação compressiva que ocorre em ambiente tectônico colisional (CONDIE, 2002).

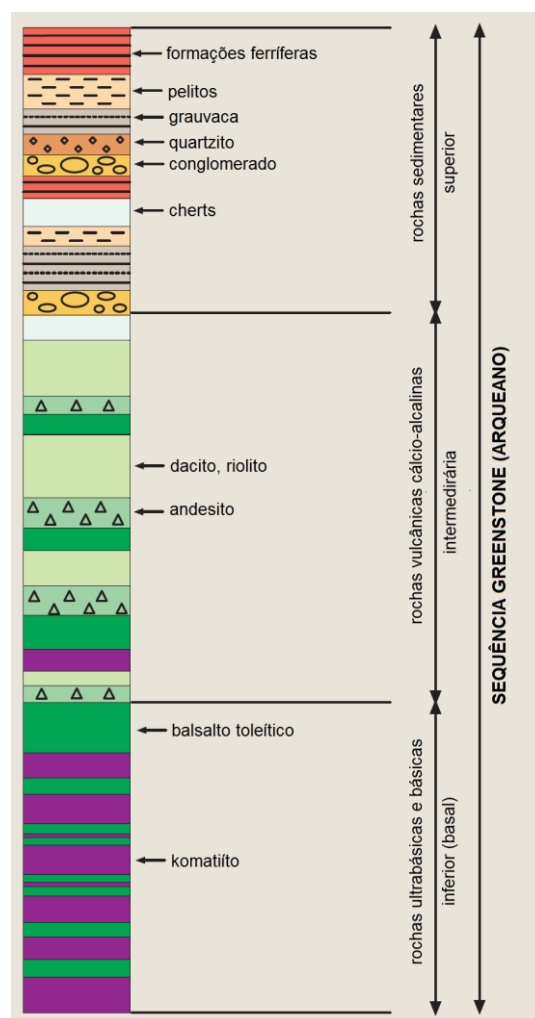
3.3 GREENSTONES BELTS

3.3.1 Arqueanos

Greenstones Belts ocorrem como faixas lineares constituídas por sequências metavulcanossedimentares, metamorfizadas em fácies xisto verde ou anfibólito,

típicas, mas não exclusivas, de terrenos arqueanos (BRITO NEVES, 2012). Estas rochas são comumente associadas a grandes quantidades de intrusões graníticas, por isso a utilização no termo Terreno Granito-*Greenstone*. Determinar a espessura e estratigrafia desses terrenos é extremamente complicado devido intenso estágio de deformação. As rochas que compõe os Terrenos *Greenstone* são vulcânicas, variando de ultramáfica a félsicas, e rochas sedimentares diversas, mas predominantemente grauvascas e pelitos. Devido ao metamorfismo de baixo grau, algumas rochas apresentam estruturas primárias bem preservadas (CONDIE, 1989).

Figura 3 – Seção esquemática da sequência estratigráfica que caracteriza o *Greenstone* de Barberton, porção sul do continente africano.



Fonte: Adaptado de Frisch, Meschede e Blakey, 2011.

As rochas vulcânicas são predominantes nas associações de *greenstone*. Estruturas como *pillow* lavas mostram que o vulcanismo arqueano era

majoritariamente submarino (CONDIE, 1989). As rochas vulcânicas mais características de *greenstones* arqueano, embora também ocorram com menos frequência no Proterozoico, são os komatiitos. Komatiitos são rochas ultrabásicas que possuem teor $\text{MgO} \geq 18\%$ e apresentam textura *spinifex* (NEVES, 2008).

As rochas sedimentares compõem cerca de 10% a 30% do total de rochas dos *greenstones belts*. As grauvacas e rochas pelíticas são as mais importantes e, devido a estruturas como estratificação gradacional, esses sedimentos são interpretados como depósitos turbidíticos (WIT; FURNES; ROBINSO, 2011). Outras rochas sedimentares de grande importância são as formações ferríferas bandadas.

Embora a composição das rochas vulcânicas varie, as máficas são mais abundantes e amplamente distribuídas em toda sequência *greenstone* (Figura 3). As porções basais destas sequências são caracterizadas por vulcanismo bimodal, composto por komatiitos e basaltos toleíticos. A porção intermediária é caracterizada pelo decréscimo ou ausência de komatiitos e pela intercalação de basaltos e andesitos/dacitos (FRISCH; MESCHERDE; BLAKEY, 2011). A porção superior da sequência *greenstone* é normalmente marcada pelo aparecimento das rochas metassedimentares, compostas por cherts e formações ferríferas, quartzitos, pelitos, conglomerados e, principalmente, grauvacas (KAMBER et al., 2005).

3.3.2 Proterozoicos

Os *Greenstones* proterozoicos são semelhantes aos arqueanos, com exceção da presença dos komatiitos na porção basal da sequência de rochas vulcânicas. A ausência de komatiitos no Proterozoico pode indicar uma diminuição no gradiente geotérmico da Terra desde o Arqueano. Além disso, há também a escassez ou ausência de formações ferríferas bandadas (BIFs). Os exemplos mais comuns de sucessões *greenstones* proterozóicas são *Flin Flon–Lake*, no Canadá, e o Sistema Birrimiano na porção oeste do continente africano (CONDIE, 1994).

No Proterozoico os terrenos *greenstones* também são caracterizados por uma grande quantidade de rochas vulcânicas, com estruturas como *pillow* lavas, que indica ambiente submarino. Os basaltos toleíticos compõem a porção basal e a composição tende a ficar mais ácida em direção ao topo da sequência, com andesitos e dacitos na porção intermediária (NEVES, 2008).

A quantidade de grauvaca e pelito variam, e por conta de estruturas como estratificação gradacional, assim como em *greenstones* arqueanos, são interpretados como depósitos turbidíticos (KAMBER et al., 2005).

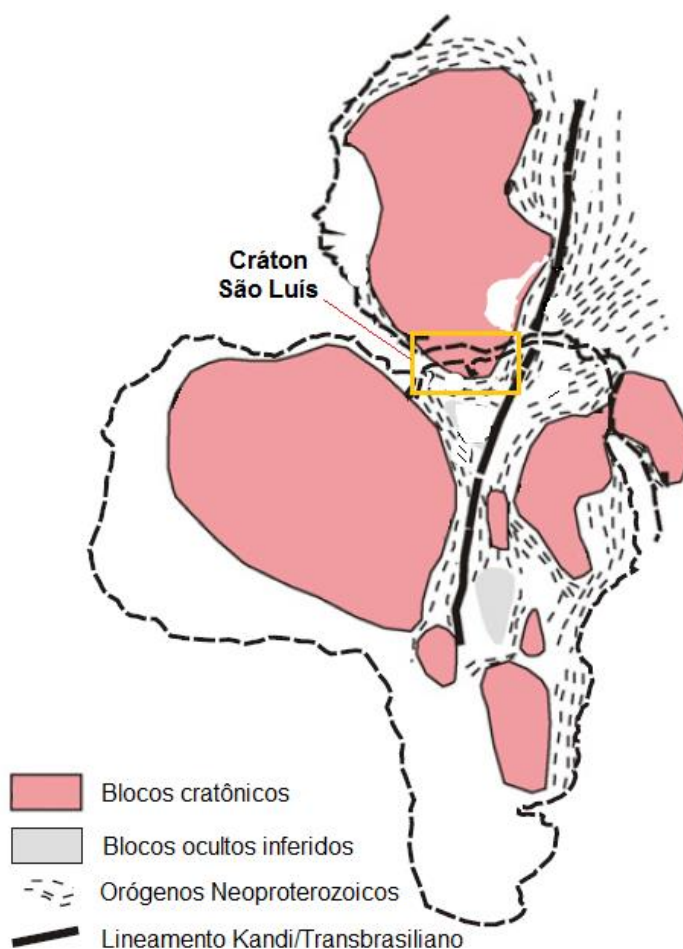
Greenstones Belts proterozóicos são intrudidos por uma quantidade significativa de rochas plutônicas. Apesar de a composição dessas rochas variar entre tonalito até granito, os granodioritos são mais comuns, diferentemente dos plútons arqueanos onde a composição tonalítica é mais frequente (CONDIE, 1989).

4 GEOLOGIA REGIONAL

4.1 CRÁTON SÃO LUÍS

O Cráton São Luís está localizado na parte nordeste do Brasil e se estende cerca de 400 km no sentido leste-oeste e até 120 km em sentido norte-sul, cobrindo partes dos estados do Pará e Maranhão (KLEIN et al., 2009). O cráton limita-se a sul pela Faixa Móvel Gurupi, através da zona de cisalhamento Tentugal (KLEIN et al., 2009). É interpretado por Klein et al. (2008b) como parte de um orógeno acrescionário Riacciano, formado entre 2.24 Ga e 2.0 Ga, que corresponde ao Cráton Oeste Africano, justificado o uso do termo “fragmento cratônico São Luís”. A separação do Cráton Oeste Africano teria ocorrido durante a fragmentação do supercontinente Pangea (KLEIN; MOURA, 2008a).

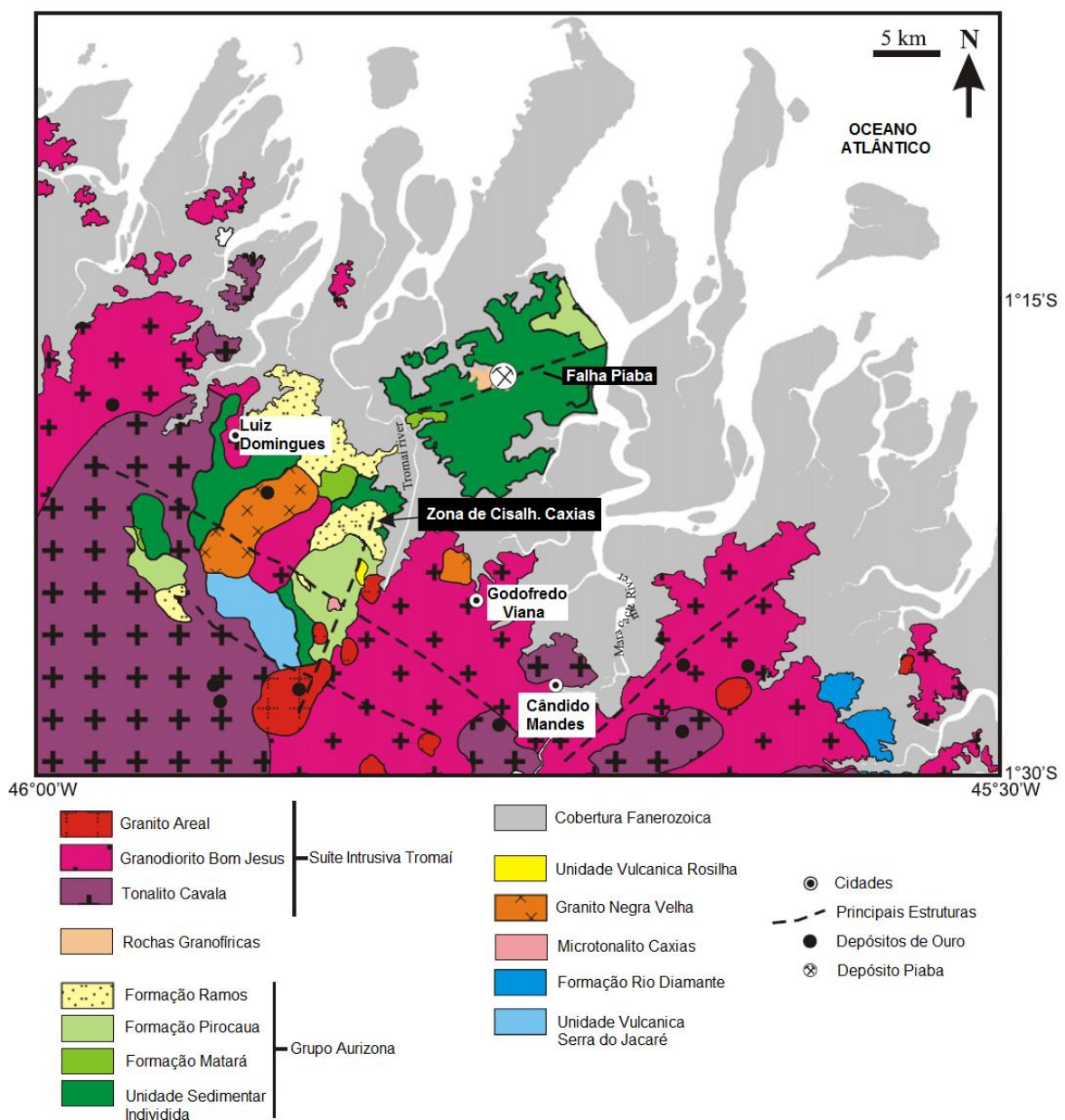
Figura 4 - Porção oeste do continente africano mostrando a relação de continuidade do Cráton Oeste Africano na Plataforma Sul-Americana, que após a fragmentação originou o Cráton São Luís.



Fonte: Modificado de Klein et al., 2015.

O Cráton São Luís é composto predominantemente por rochas graníticas de composições e idades variadas, que constituem a chamada Suíte Tromai, intrusivas à rochas supracrustais (KLEIN; MOURA, 2008). As supracrustais formam o conjunto de rochas mais antigas do cráton, denominadas por Pastana (1995) como Grupo Aurizona, que consiste numa sequência metavulcanossedimentar que será descrita mais detalhadamente a seguir.

Figura 5 - Mapa geológico simplificado da porção NNE do Brasil, onde está situado o Cráton São Luís. No mapa pode-se ver a distribuição geográfica das unidades cronoestratigráficas, sobretudo no entorno do depósito de Piaba, onde se concentra o trabalho.



Fonte: Modificado de Klein et al. 2015.

4.1.1 Grupo Aurizona

As rochas supracrustais ocorrentes no Cráton São Luís foram discutidas anteriormente por diversos autores, mas relacionadas às rochas do Grupo Gurupi. A denominação Grupo Aurizona foi proposta por Pastana (1995) para descrever as faixas de rochas supracrustais, de natureza metavulcano-sedimentar, metamorfizadas na fácies xisto verde e localmente em anfibolito inferior, que ocorrem na área estudada, no NW do estado do Maranhão. Essas rochas foram encaixadas no intervalo paleoproterozoico/neoarqueano, por conta de relações com a Suíte Tromaí, com a qual tem contato intrusivo.

Posteriormente Klein e Moura (2001) determinaram, através da datação de cristais de zircão de uma rocha metapiroclástica, uma idade de 2240 ± 5 Ma para essa unidade. O Grupo Aurizona é subdividido em três Formações e uma unidade metassedimentar não dividida (KLEIN; MOURA, 2008a):

- 1) Formação Pirocaua: composta por tufos félsicos cálcio-alcálinos, aglomerados vulcânicos, riolitos e dacitos.
- 2) Formação Matará: composta por rochas metamáficas e metaultramáficas de composição toleítica.
- 3) Formação Ramos: composta por rochas de origem sedimentar, nas quais compreendem xistos e filitos, por vezes carbonosos e em menores proporções quartzitos, meta chert e grauvacas.
- 4) Unidade Metassedimentar Individa

Posteriormente, com base em dados geoquímicos de rocha-total, Klein et al. (2009) interpretaram a sequência de rochas metavulcanossedimentares do Grupo Aurizona como formada em ambiente de subducção (arco ou retroarco). Essas rochas foram intrudidas por granitoides, dentro dos quais está incluso o Granodiorito Piaba (KLEIN et al., 2015), descrito como uma rocha subvulcânica, de apresenta granulação fina, textura granofírica e é hospedeiro de parte do depósito Piaba (FREITAS; KLEIN, 2013).

4.1.2 Suíte Tromaí

Esta unidade corresponde a corpos graníticos de dimensões batolíticas, inicialmente descritos por Costa et al. (1977) como Suíte Anorogênica Tromaí e posteriormente por Abreu et al. (1980) como Formação Tromaí. Esta unidade

granítica é composta principalmente por tonalitos, throndjemitos e granodioritos. Foi subdivida por Pastana (1995) em Tonalito Cândido Mendes e Granito Areal e tem contato discordante, por truncamento, com as rochas do Grupo Aurizona.

A Suíte Tromaí, assim como o Grupo Aurizona, foi inicialmente posicionada no intervalo arqueano-paleoproterozoico (Pastana, 1995) e posteriormente datada por Klein et al. (2001) com idade 2165 Ma por Pb-Pb em zircões. Klein et al. (2008b) subdividiram a Suíte intrusiva Tromaí em três unidades, baseadas principalmente no tipo petrográfico:

- 1) Tonalito Cavala
- 2) Granodiorito Bom Jesus
- 3) Granito Areal

4.2 CRÁTON OESTE AFRICANO

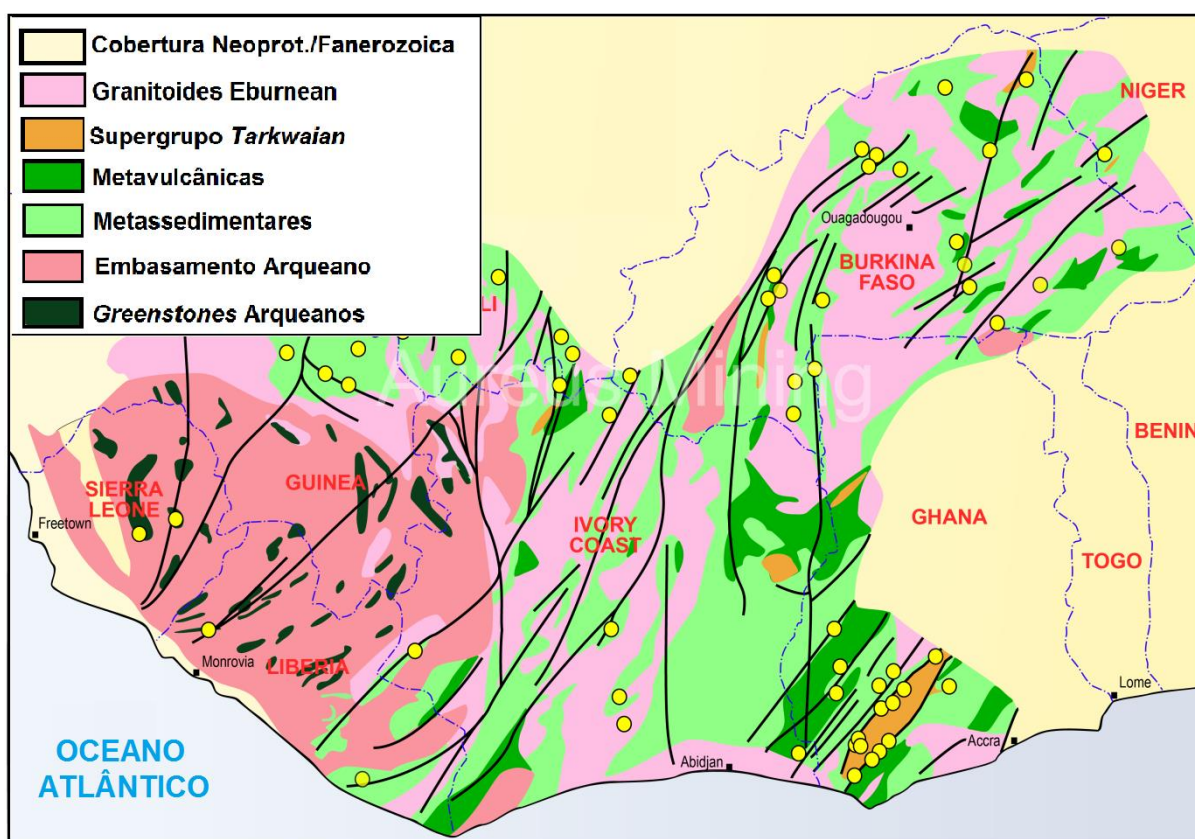
O Cráton Oeste Africano se estende por quatorze países na porção oeste do continente africano. Ele consiste em rochas de varias naturezas e idades, com registros do Arqueano ao Fanerozoico. É composto ao norte pelo escudo Reguibet e a sul pelo escudo Man (DIXEY, 2015), por sua vez subdividido em um domínio Arqueano (Domínio Kéneme) e um Paleoproterozoico (Domínio Baoulé-Mossi). Os dois escudos são separados geograficamente por uma sequência de *greenstones* paleoproterozoicos, bacias sedimentares e granitoides de composição TTG. Essas rochas proterozóicas ocupam uma considerável parte do Cráton, e compõem os terrenos *greenstones* do Supergrupo Birimian e as rochas metassedimentares do Supergrupo Tarkwaian (SMITH; HENRY E KILLIAN, 2016).

4.2.1 Supergrupo Birimian

O Supergrupo Birimian foi inicialmente dividido em Birrimiano Inferior, compreendendo unidades vulcano-sedimentares e Birrimiano Superior, compreendendo rochas metavulcânicas (GRIFFIS et al., 2002). Adadey et al. (2009) propuseram uma revisão estratigráfica, posteriormente complementada por Perrouty et al. (2012), onde o supergrupo foi subdividido em Grupo Sefwi (mica xisto e metavulcanicas), Grupo Kumasi (metassedimentares e andesitos). A formação dos *greenstones* birrimianos é relacionada à ambiente de arco de ilha oceânico (DAMPARE et al., 2008).

Os *greenstones belts* do Supergrupo Birrimian tem direção preferencial NE e são mais expressivos territorialmente no limite entre a Costa do Marfim e Gana. Esses cinturões são compostos principalmente por rochas máficas, mas também contem rochas ultramáficas e intercalações com dacitos e riolitos (DAMPARE et al., 2008). As unidades sedimentares são metamorfizadas em baixo grau e intensamente dobradas. As rochas sedimentares que compõe as sequências sedimentares são principalmente grauvacas, argilas, interpretadas como de depósitos turbidíticos (SMITH; HENRY E KILLIAN, 2016).

Figura 6 – Porção oeste do continente africano mostrando a porção sul do Cráton Oeste Africano, constituído por rochas arqueanas cristalinas (Escudo Man) e *greenstones belts*. Além do embasamento arqueano existem também os *greenstones* e metassedimentares proterozoicas, dos Supergrupos Birrian e Tarkwaian, respectivamente, além da cobertura neoproterozoica/fanerozoica.



Fonte: Adaptado de Aureus Mining, 2016. Disponível em: <www.goldendragoncapital.com/birimian-greenstone-belts/>

Idades obtidas de zircões provenientes das rochas vulcânicas do Supergrupo Birimian variam entre 2162 ± 6 M.a. e 2266 ± 2 M.a., enquanto zircões

detríticos obtidos nas rochas metassedimentares apresentam idade variando entre 2180 e 2130 M.a. (GRIFFIS et al., 2002; ADADEY et al., 2009).

4.2.2 Supergrupo Tarkwaian

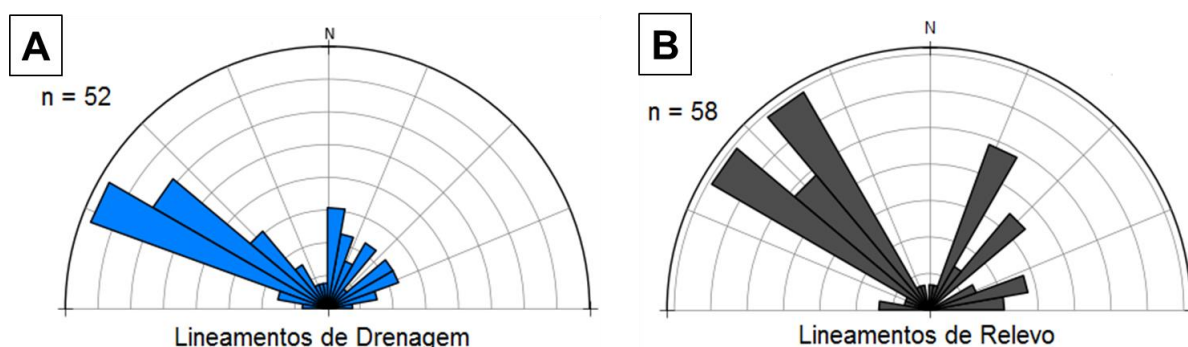
O Supergrupo Tarkwaian consiste em uma sequência metassedimentar com metamorfismo de grau baixo e com estruturas sedimentares bem preservadas, compreendendo conglomerados polimíticos, com seixos de granito, vulcânicas félsicas e máficas, chert etc., arenitos e filitos. Os sedimentos tarkwanianos foram depositados em hemigrabem alongado, em contatos com as rochas do Supergrupo Birimian. O Superrupo Tarkwaian é subdividido em Grupo Kawere (conglomerados e arenitos), Formação Banket (conglomerados com clastos das rochas birrimianas e arenitos com estratificações cruzadas), onde localiza-se o depósito de ouro placer, Filito Tarkwa e Arenito Huni.

Ao contrário das rochas do Supergrupo Birimian, as rochas do Supergrupo Tarkwaian são interpretadas como depósitos aluviais (GRIFFIS et al., 2002). Perrouty *et al.* (2012) estimam que deposição pode ter começado após 2107 M.a.

5 SENSORIAMENTO REMOTO

Durante a etapa inicial do trabalho foram extraídas feições lineares com base na drenagem e relevo sombreado, elaborado a partir do modelo digital de elevação gerado na missão SRTM. Estas estruturas apresentam *trend* preferencial WNW-ESE, com *trends* secundários N-S e NE-SW. Estas feições lineares serão descritas detalhadamente a seguir:

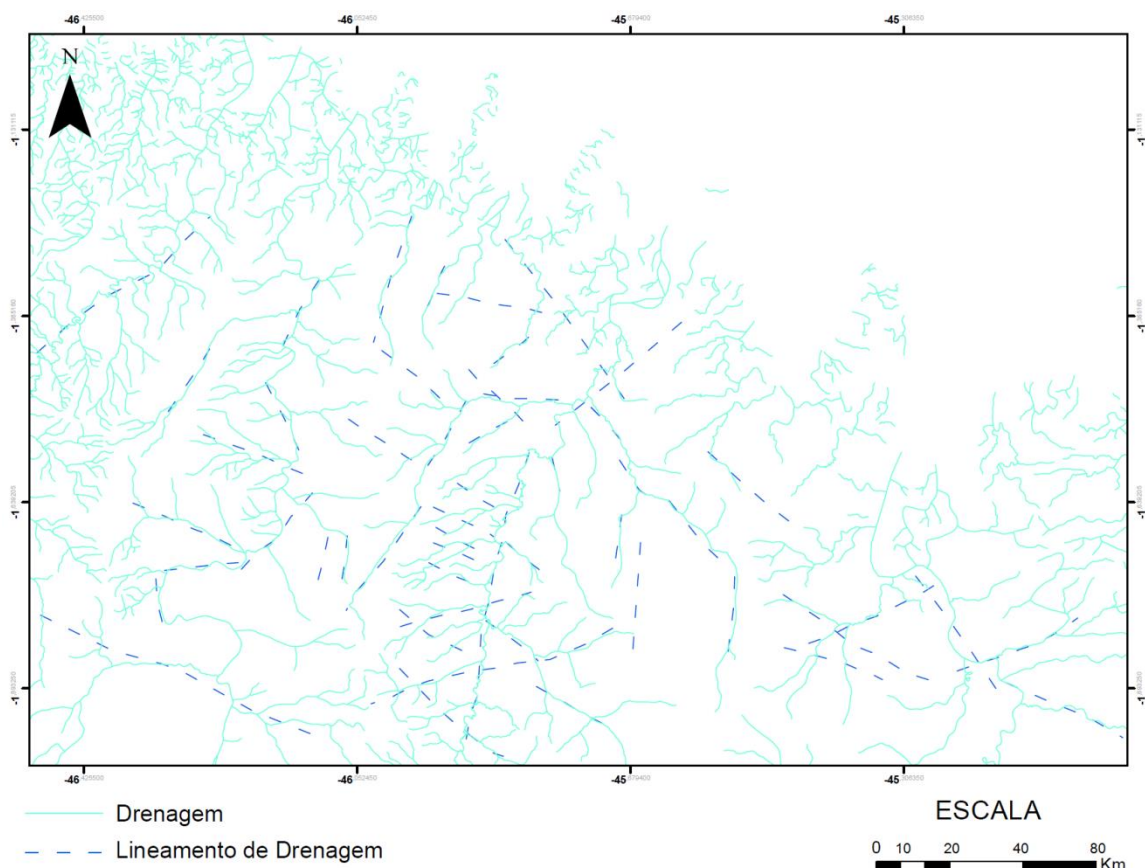
Figura 7 – (A) Diagrama de roseta das direções de lineamentos de drenagem, mostrando dois *trends* mais frequentes, WNW-ESE e secundariamente N-S, havendo também *trends* NW-SW. **(B)** Diagrama de roseta das direções de lineamentos de relevo mostra *trend* principal semelhante ao de lineamentos de drenagem embora haja uma variação para NWN-ESE e os *trends* secundários com direção N-S sejam menos expressivos. Nota-se também que o *trend* secundário mais frequente é NNE-SSW, também com variações NE-SW.



5.1 LINEAMENTOS DE DRENAGEM

Os lineamentos de drenagem (Figura 8) foram extraídos a partir da drenagem na área de estudo em escala regional. Estas feições apresentam consideráveis variações de direção, o que reflete na variação de *strike* dos lineamentos. Embora isso ocorra, é válido destacar dois *trends* que observados com mais frequência dentre os demais (Figura 7A), sendo este WNW-ESE e secundariamente N-S, havendo também *trends* NW-SW.

Figura 8 - Mapa de lineamentos extraídos a partir da drenagem.

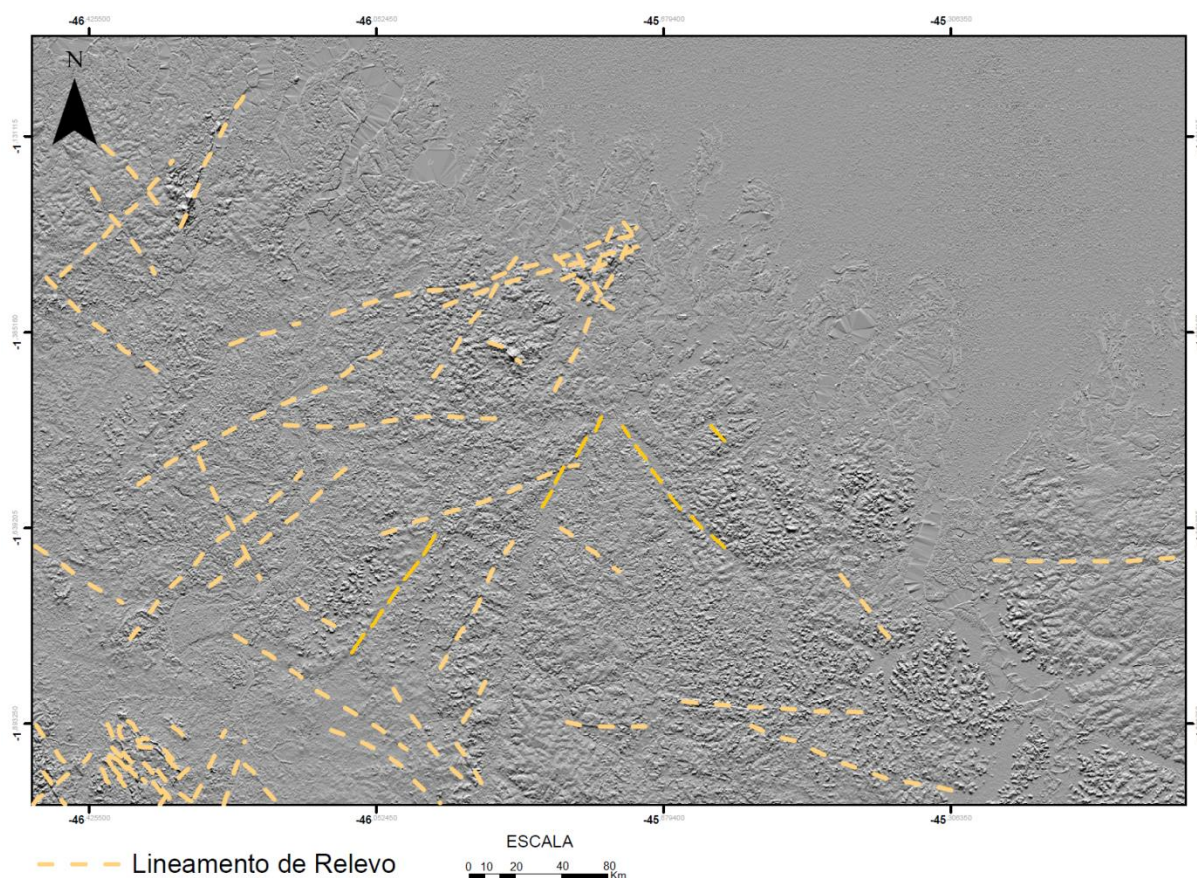


5.2 LINEAMENTOS DE RELEVO

Os lineamentos de relevo (Figura 9) foram extraídos com base em feições lineares do relevo sombreado, elaborado a partir do modelo digital de elevação (missão SRTM). Assim estes lineamentos visaram destacar feições de relevo como cristas, etc., com objetivo de determinar o *trend* preferencial das estruturas presentes na região limite entre os estados do Pará e Maranhão nas proximidades da região do Aurizona, onde se situa a área estudo.

Como base no diagrama de roseta (Figura 7B), é possível notar que os lineamentos de relevo, mostram *trend* principal semelhante aos lineamentos de drenagem (Figura 7A), embora haja uma variação para NWN-ESE e os *trends* secundários com direção N-S sejam menos expressivos. Nota-se também que o *trend* secundário mais proeminente é NNE-SSW, também com variações NE-SW.

Figura 9 - Mapa de lineamentos, extraídos a partir de feições lineares identificadas em imagens de relevo sombreado.



5.3 ANÁLISE DOS LINEAMENTOS

De forma geral, os lineamentos (Figura 10) apresentam direção preferencial NW-SE, com *trends* secundários principalmente na direção NNE-SSW (Figura 11). É nítida a influencia destes lineamentos na instalação da rede de drenagem, visto que o desenvolvimento dos cursos de água se dá preferencialmente ao longo destas feições lineares, e a ampla variação de direção das mesmas influencia o padrão dendrítico.

A maioria dos lineamentos são lineares ou curvo-lineares, com exceção da porção extremo sudoeste que apresentam certas ondulações nas estruturas curvas e onduladas, podendo tratar-se estruturas de rochas do embasamento da região.

Na região mais próxima a Mineração Aurizona são reconhecidos principalmente lineamentos de relevo, com direção NNE e NEE, das quais a segunda coincide com a direção da Falha Piaba (Klein et al., 2015).

Figura 10 - Mapa com os lineamentos de relevo e drenagem da região do Gurupi, limite entre os estados do Pará e Maranhão.

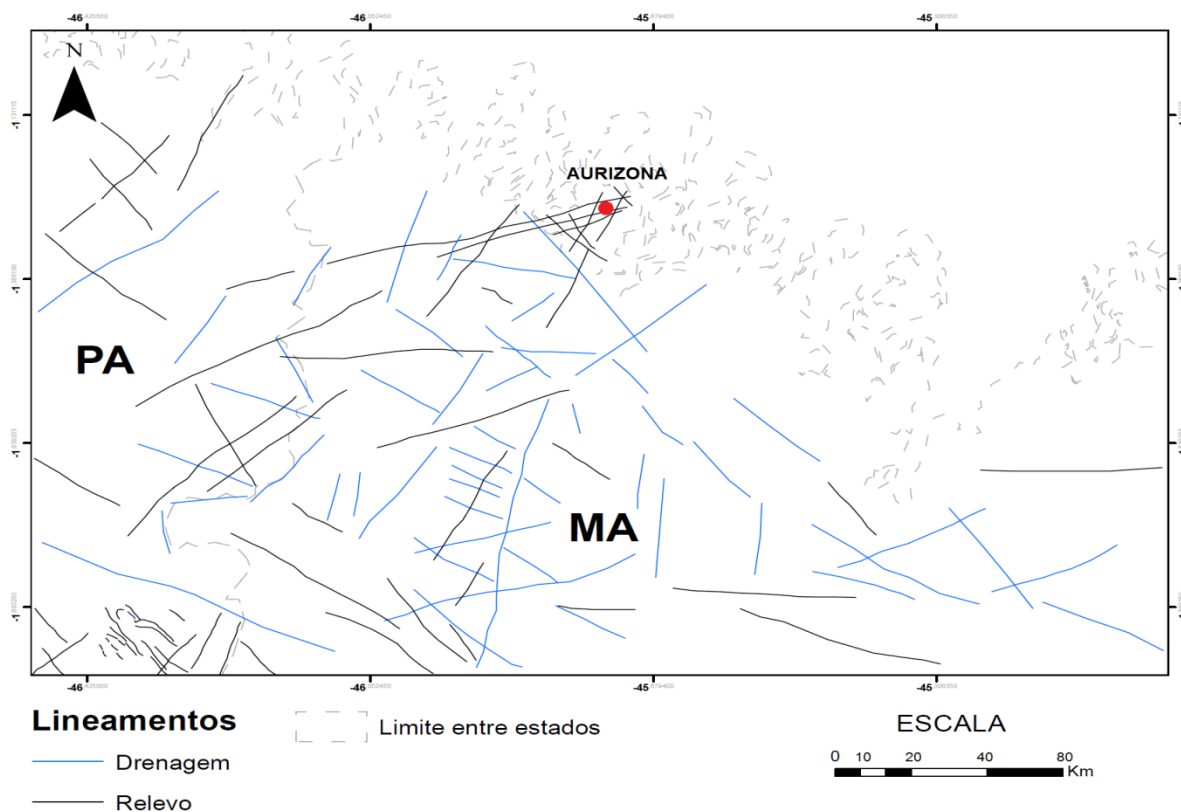
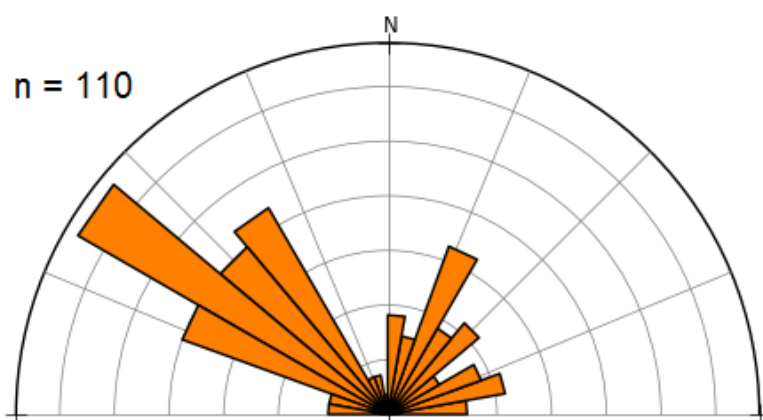


Figura 11 - Diagrama de roseta com as direções dos lineamentos de relevo e de drenagem, mostrando direção preferencial NW-SE, com *trends* secundários principalmente na direção NNE-SSW.

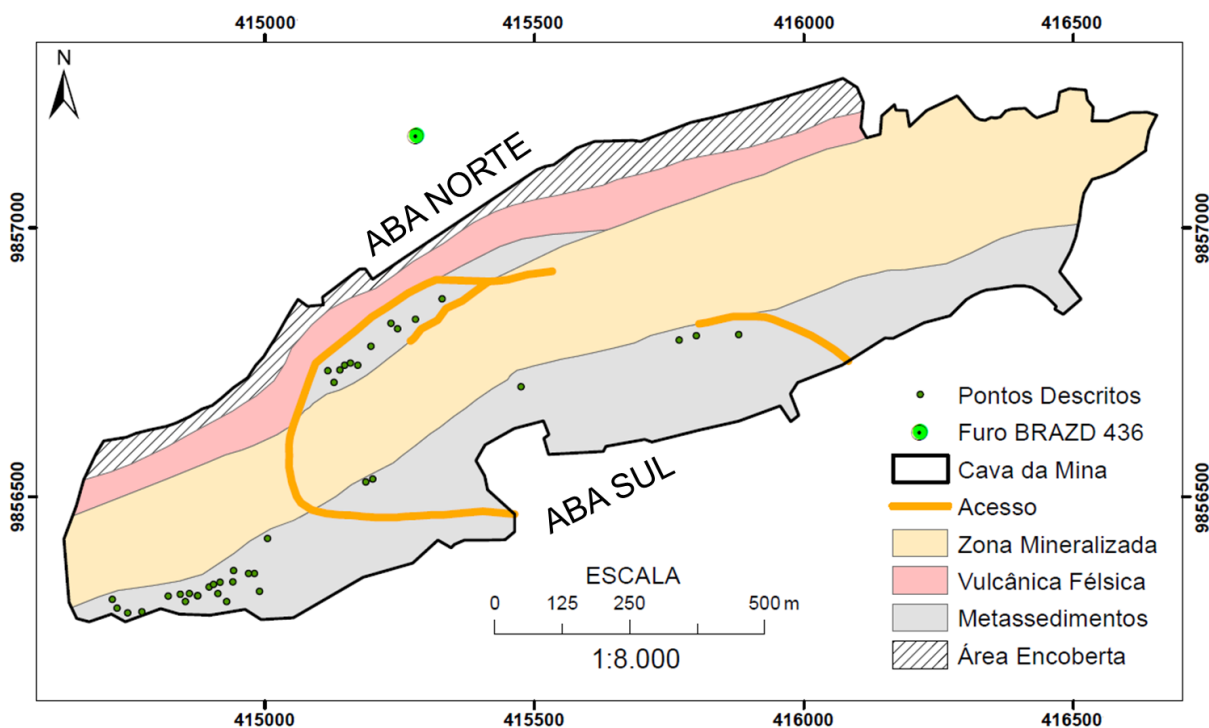


6 GEOLOGIA DA MINA AURIZONA

6.1 DEPÓSITO PIABA

O Depósito de Ouro Piaba é epizonal-mesozonal como de origem orogênica, encaixado em um sistema de falhas transcorrentes subverticais (Falha Piaba), que corta uma sequência metavulcanossedimentar e granitoides. Estas rochas passaram por alteração hidrotermal a qual gerou na zona distal carbonitização e hematitização, e na zona proximal, ouro relacionado à alteração do tipo clorita-sericita-carbonato-sulfeto (KLEIN et al., 2015). A distribuição dessas rochas pode ser observada na Figuras 12, onde é apresentado o mapa de Mina Aurizona, e na Figura13 onde apresenta a sequência litológica amostrada pelo Furo BRAZD 436.

Figura 12 – Mapa da Mina Aurizona com a distribuição geográfica dos principais litotipos e pontos descritos durante o trabalho de campo.



6.1.1 Rochas Encaixantes

Segundo Klein et al. (2015) as rochas encaixantes do Depósito Piaba são as rochas do Grupo Aurizona (2240 ± 5 M.a.) que compreende uma sequência metavulcanossedimentar composta por xistos, andesito/dacito, rochas ultramáfica e tufos félsicos, intrudidos por um granodiorito de granulação fina.

Dentre as rochas metassedimentares aflorantes na mina estão metarritmitos, metagrauvacas e metacherts que ocorrem como lentes. O metarritmito é o litotipo predominante na sequência metassedimentar, presente tanto no *footwall* (Aba Sul da Cava) quanto o *hanging wall* (Aba Norte da Cava) do minério. Possui coloração cinza escuro e granulação muito fina, impossibilitando a identificação mais detalhada da mineralogia a olho nu. Esta rocha apresenta acamamento como estrutura primária, caracterizada pela intercalação de camadas centimétricas (2 – 10 cm) cinzas e pretas. Lentes métricas (~ 1 m) de metachert são encontradas no metarritmito. O litotipo metagrauvaca aflora exclusivamente na porção central da Aba Sul da cava. Ele apresenta coloração cinza esverdeada e granulação média a grossa. Em algumas porções é possível identificar o acamamento, no qual, em algumas camadas, é notada a presença de clastos argilosos com diâmetro aproximado de 2 cm.

6.1.2 Rochas Hospedeiras

Segundo Freitas e Klein (2013), as rochas hospedeiras do depósito são o Granodiorito Piaba, que foi denominado por Klein et al., (2008a) como uma rocha subvulcânica com textura granofírica, e o andesito/dacito que pertencente à sequência metavulcanossedimentar do Grupo Aurizona.

6.2 FURO DE SONDAGEM

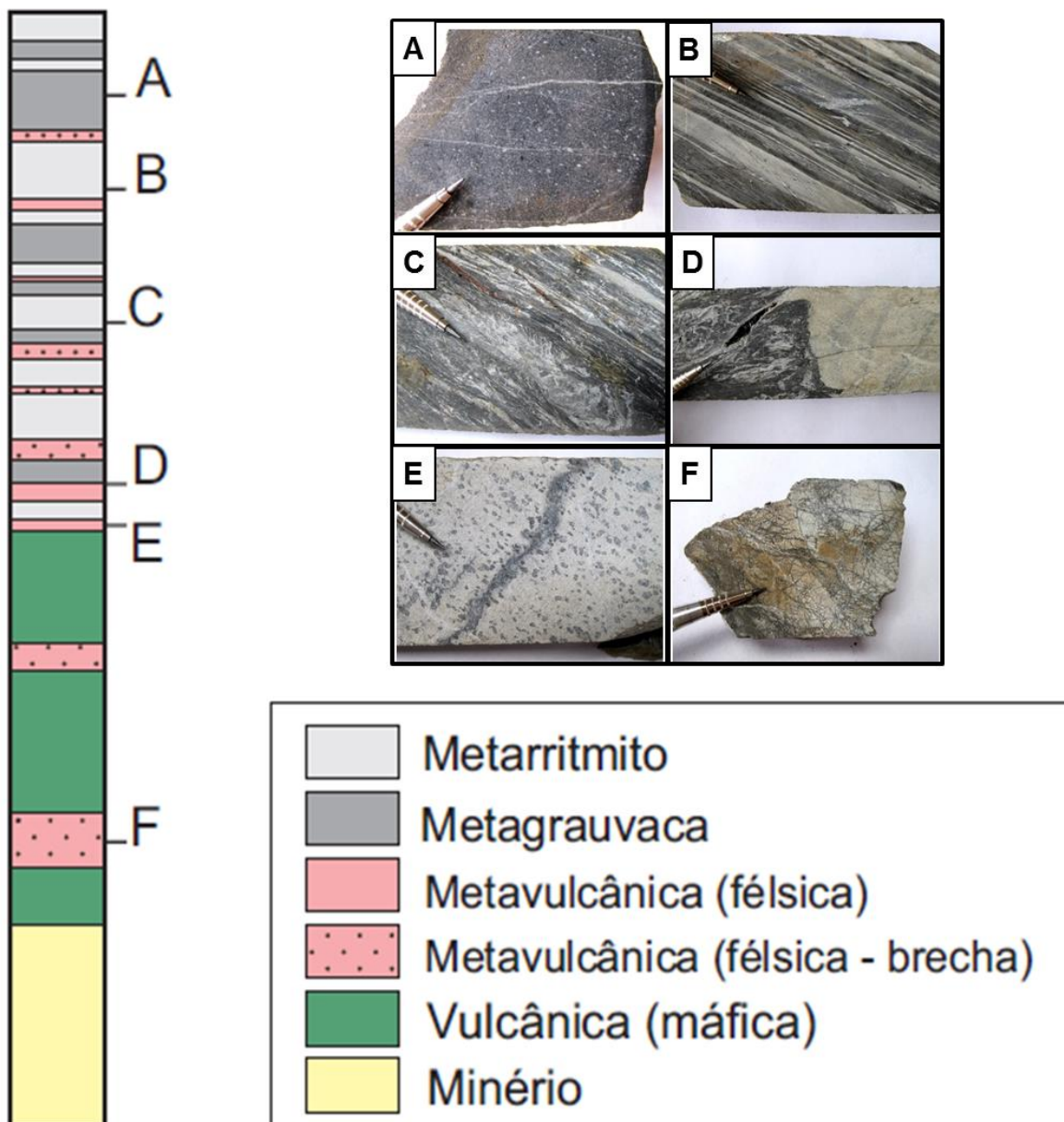
O furo BRAZD 436 foi feito há aproximadamente 200 m de distância, na direção NW da Aba NORTE na cava. Este furo tem profundidade máxima de 680 m, com ângulo de inclinação de 70° na direção 170°Az.

Até aproximadamente 35 m de profundidade, a partir da superfície, a amostragem é apenas de saprólito. Após isso, inicia uma sequência de intercalações constantes entre as rochas metassedimentares (metagrauvaca e metarritmito) e a rocha vulcânica de composição félsica. As camadas de metarritmito e metagrauvaca apresentam espessuras variando de 3 a 12 m. O grau de deformação dessas rochas varia ao longo da amostragem e ambas as rochas são cortadas por veios de composição quartzo-carbonática. A rocha vulcânica félsica apresenta espessura média de 4 m, também é afetado por veios de quartzo e carbonato e por vezes

encontra-se brechado (protocataclasito), sobretudo no contato com as rochas metassedimentares.

A sequência metavulcanossedimentar estende-se até aproximadamente 240 m de profundidade, onde inicia a intercalação entre a rocha vulcânica félsica e a rocha vulcânica máfica (ultramáfica?), ambas afetadas por veios de composição quartzo carbonática. Durante essa sequência a rocha de composição félsica apresenta-se mais frequentemente como brecha. Essa sequência bimodal félsica-máfica se estende até 550 m de profundidade, onde inicia o minério.

Figura 13 – Seção esquemática (fora de escala) do Furo de Sondagem BRAZD 436, com profundidade máxima de 680 m, com ângulo de inclinação de 70° na direção 170°Az.



7 ANÁLISE ESTRUTURAL

As rochas expostas na área que compreende a Mina Aurizona apresentam varias estruturas decorrentes de deformação, tanto de caráter dúctil quanto rúptil e associadas a diferentes fases deformacionais temporalmente distintas. Dentre as estruturas identificadas, destacam-se as foliações primária e secundária, zonas de cisalhamento, dobras e falhas. Estas estruturas serão descritas a seguir.

7.1 FOLIAÇÃO

Foliação é qualquer estrutura planar ou curvilinear que ocorra penetrativamente e homogeneamente em uma rocha (TWISS; MOORES, 2006), embora o termo seja mais comumente usado para se referir a estruturas presentes em rochas metamórficas. As foliações são divididas em primárias, quando de origem sedimentar ou ígnea, e secundárias, formadas por processos de deformação em resposta a esforços tectônicos (PASSCHIER; TROUW, 2005).

As foliações tectônicas apresentam importantes informações para na análise da deformação, visto que a maioria delas se desenvolve perpendicularmente ao eixo de encurtamento (FOSSEN, 2012).

O tipo de foliação depende da litologia e das condições metamórficas e deformacionais sob as quais a rochas foi exposta (PASSCHIER; TROUW, 2010). As foliações são descritas conforme suas características morfológicas e classificadas em dois grupos (Tabela 2): (1) foliação contínua e (2) foliação espaçada (TWISS; MOORES, 2006).

Na Mina Aurizona, os tipos de foliação identificados particularmente nas rochas metassedimentares foram a foliação primária, definida pelo acamamento sedimentar rítmico, clivagem espaçada e foliação milonítica.

7.1.1 Acamamento Sedimentar (S_0)

Algumas rochas de baixo a médio grau metamórfico, quando pouco deformadas, podem apresentar estruturas reliquias bem preservadas (Figura 14), como o acamamento sedimentar e estruturas de fluxo magmático (TWISS; MOORES, 2006).

Na Mina Aurizona, as rochas que apresentam o acamamento sedimentar (S_0) bem preservado são os metarritmitos e as metagrauvacas. Na Aba Sul da cava, os planos de acamamento no metarritmito têm ângulos de mergulho subverticais

(75° - 90°), os quais se dispõem preferencialmente na direção NNW, com variações suaves para NNE, configurando um padrão anastomótico (Figura 15^a e Anexo A, ponto c).

Em regiões onde ocorrem dobras, a direção do S_0 varia de 030° Az a 100° Az, desenhando os flancos dessa estrutura. Na porção SE na mina, onde aflora o litotipo metagrauvaca (Figura 15B), o S_0 tem ângulos de mergulho subverticais (70° - 84°) para SE, na direção 060°Az.

Na Aba Norte da cava o acamamento do metarritmito (Figura 15C) também apresenta ângulos de mergulho subverticais (70° - 85°) com direção similar aos planos de S_0 da Aba Sul, variando entre 060° - 115° Az.

Figura 14 - Estruturas primárias encontradas no acamamentos das rochas metassedimentares aflorantes na Mina Aurizona em (A) acamamento sedimentar no metarritmito e (B) clastos de argila.

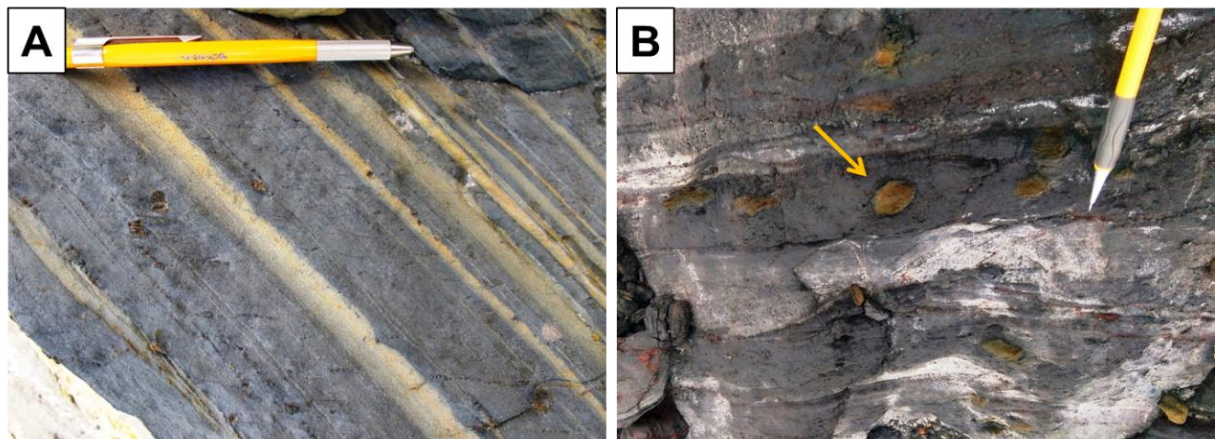
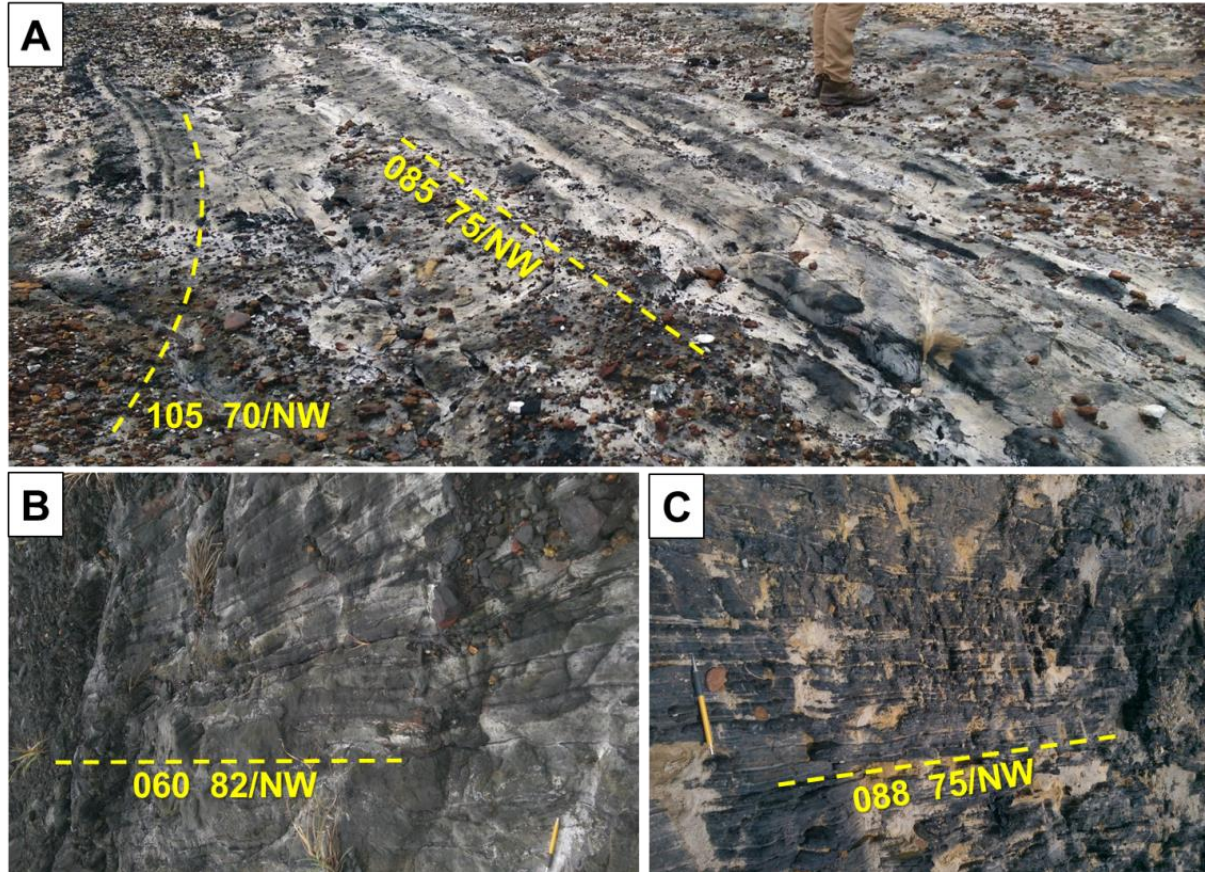


Figura 15 - (A) Acamamento sedimentar do metarritmito, na Aba Sul da cava, onde percebe-se os planos subverticais e com variações na direção, em arranjo anastomótico. (B) Acamamento sedimentar da metagrauvaca aflorante na porção SE da cava, com atitude 060 82/NW. (C) Acamamento sedimentar no metarritmito, na Aba Norte, com atitude 088 75°/NW.



7.1.2 Clivagem Espaçada (S_1)

Clivagem é a tendência que a rocha apresenta a quebrar em planos com orientações específicas (PASSCHIER; TROUW, 2005). Esses planos são geralmente paralelos, penetrativos e com pequenos espaçamentos entre si. Assim, a clivagem é um subgrupo das foliações, normalmente associada às rochas de baixo grau metamórfico, como ardósias e filitos (DAVIS; REYNOLDS; KLUTH, 2011).

Tabela 2 - Classificação morfológica de foliação e clivagem.

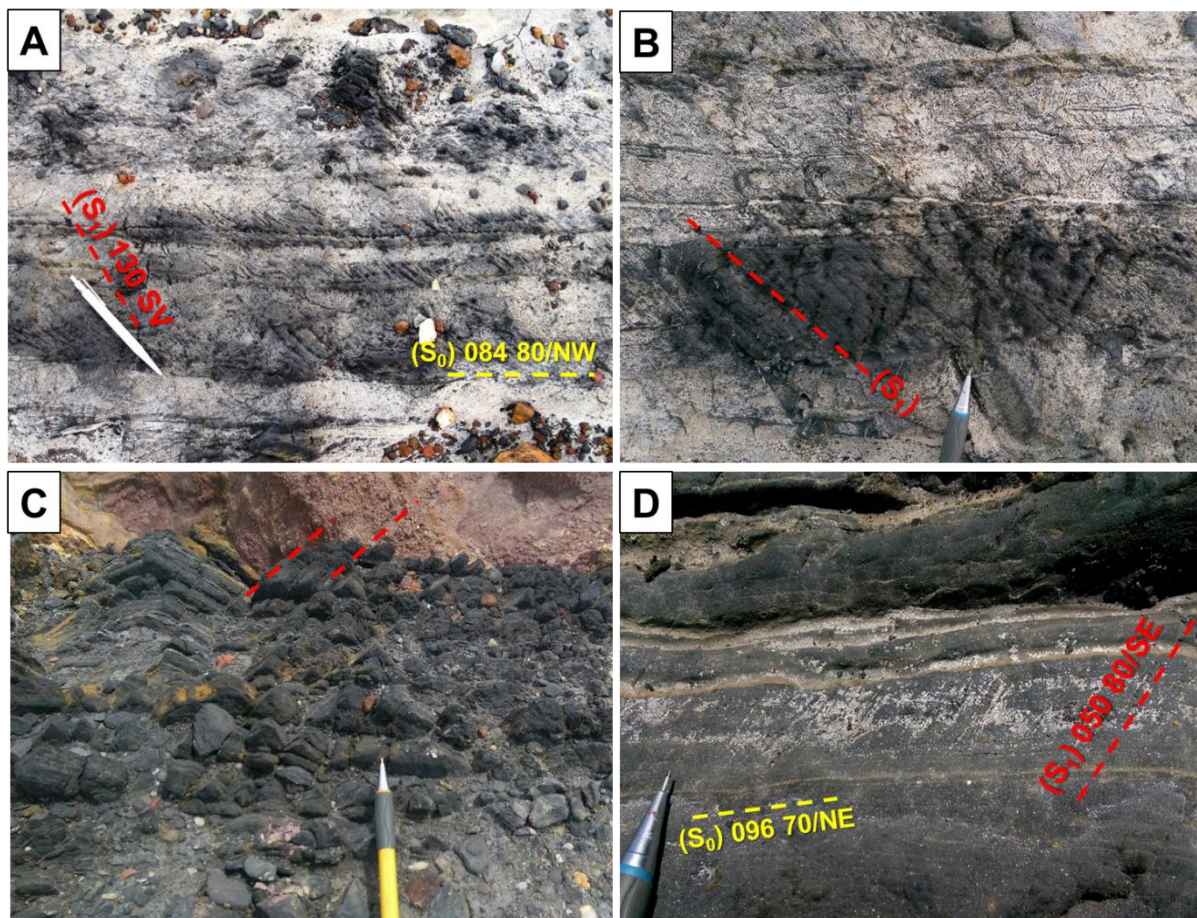
FOLIAÇÃO E CLIVAGEM	ESPAÇADA	Composicional	Difusa
			Bandada
		Disjuntiva	Estilolítica
			Anastomótica
			Grossa (áspera)
			Fina (suave/lisa)
		Crenulação	Zonal
			Discreta
	CONTÍNUA	Fina	Microcrenulação
			Microdisjuntiva
			Microcontínua
		Grossa	Trama Mineral (Clivagem ardósiana)
			Discreta (Xistosidade)

Fonte: Modificado de Twiss e Moores (2006).

Na Mina Aurizona, a clivagem presente no metarritmito é do tipo espaça, a qual corta obliquamente o acamamento. Na Aba Sul, onde a clivagem é melhor representada, o S_0 do metarritmito apresenta-se com ângulos de mergulho subverticais e direção majoritariamente em torno de 080° Az (Figura 16A e B), enquanto a clivagem dispõe-se discordantemente, com direção oscilando entre 104° (SW) e 130° Az (SW), também com ângulos de mergulho subverticais (Figura 16C) com espaçamento entre planos variando entre 0.2 e 3 cm. Não foi identificada a presença de clivagem no metagrauvaca na porção SE da mina.

Na Aba Norte a clivagem também é presente, embora bastante apagada por intemperismo, além de estar deformada por falhas, conforme será descrito adiante neste texto. Ainda nesta local da mina o acamamento dispõe-se preferencialmente com direção 096° Az enquanto a clivagem tem direção 044° Az (Figura 16D).

Figura 16 - (A) e (B) Aba Sul, onde o acamamento (S_0) tem direção 084 80/NW e a clivagem espaçada (S_1) tem direção 130° Az com mergulho subvertical. (C) e (D) Aba Norte, mostra a relação entre acamamento e clivagem, onde S_0 tem direção 096 70/NE e S_1 050 80/SE.



7.1.3 Foliação Milonítica (S_2)

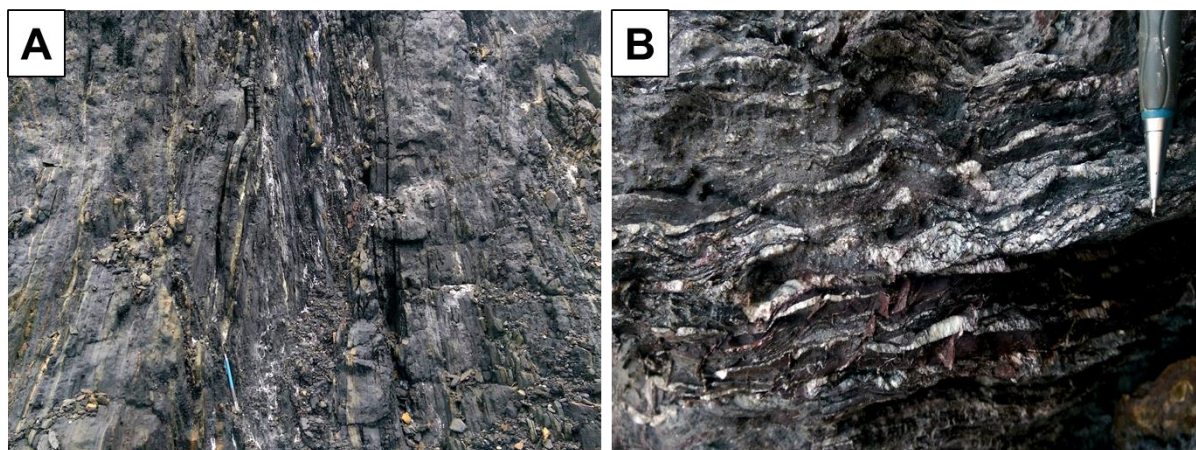
Zonas e/ou bandas de cisalhamento dúcteis são estruturas tabulares, limitadas por duas paredes (ou margens) planares ou subplanares, onde a taxa de deformação é notavelmente mais intensa que nas áreas adjacentes. Independente da atitude da zona de cisalhamento, o deslocamento tende a ser paralelo às paredes (FOSSEN, 2012). Elas existem em varias escalas e é comum o desenvolvimento de foliação milonítica ao longo de sua extensão.

Na Mina Aurizona as bandas de cisalhamento estão dispostas sub-concordantemente aos planos de acamamento do metarritmito e da metagrauvaca onde há o desenvolvimento da foliação milonítica. A matriz é composta por material de granulação muito fina, com porfiroclastos, representados principalmente por agregados de quartzo (Figura 17A). De acordo com a proporção matriz/porfiroclastos

(70% de matriz e 30% de porfiroclastos) as rochas contidas nessas zonas podem ser classificadas como milonitos.

A foliação milonítica (Figura 17B) ocorre isoladamente ao longo de bandas de cisalhamento de escala centimétrica (20 – 80 cm), presentes tanto na Aba Norte quanto na Sul. Os planos dessa foliação apresentam ângulos subverticais, em torno de 80°, com direção de mergulho para NW e encontram-se subparalelos às demais foliações adjacentes. Em amostras de testemunho de sondagem foram identificadas zonas de cisalhamento que afetam também a rocha vulcânica félsica.

Figura 17 - (A) Visão em corte de banda de cisalhamento no metarritmito, localizado na Aba Norte, com planos de foliação milonítica subverticais e subconcordantes ao acamamento sedimentar. (B) Metarritmito milonitizado, localizado na Aba Sul. A proporção entre matriz e porfiroclastos é de aproximadamente 70% e 30%, respectivamente, caracterizando como milonito. Essa foliação ocorre em bandas de cisalhamento subconcordantes ao acamamento sedimentar.



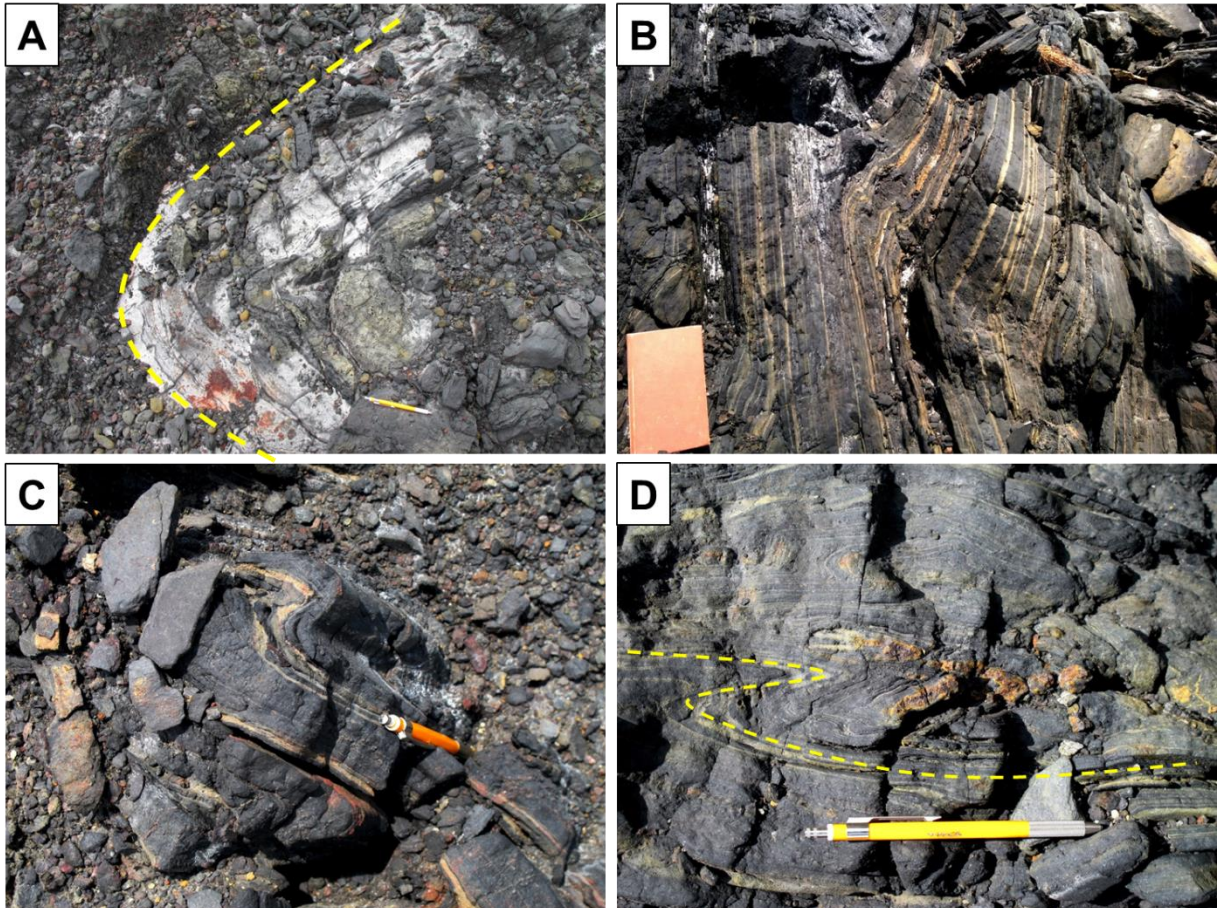
7.2 DOBRAS

Na Aba Sul da Mina Aurizona os dobramentos foram identificados tanto no metarritmito, e lentes de metachert inclusas neste litotipo, como na metagrauvaca, onde as dobras ocorrem em faixas restritas, comumente associadas à zonas de cisalhamento, por arrastos intrafoliais passivos.

No metarritmito as dobras são fechadas, assimétricas, normalmente com forma em 'Z', de escala centimétrica (5 – 40 cm), com a maioria dos ângulos de caimento dos eixos variando entre 30° e 60°, desde reclinadas a subverticais, com direção de caimento, ora para NE (030° – 070° Az), ora para SW (220° – 265° Az). Na metagrauvaca as dobras variam entre abertas e fechadas, tanto simétricas

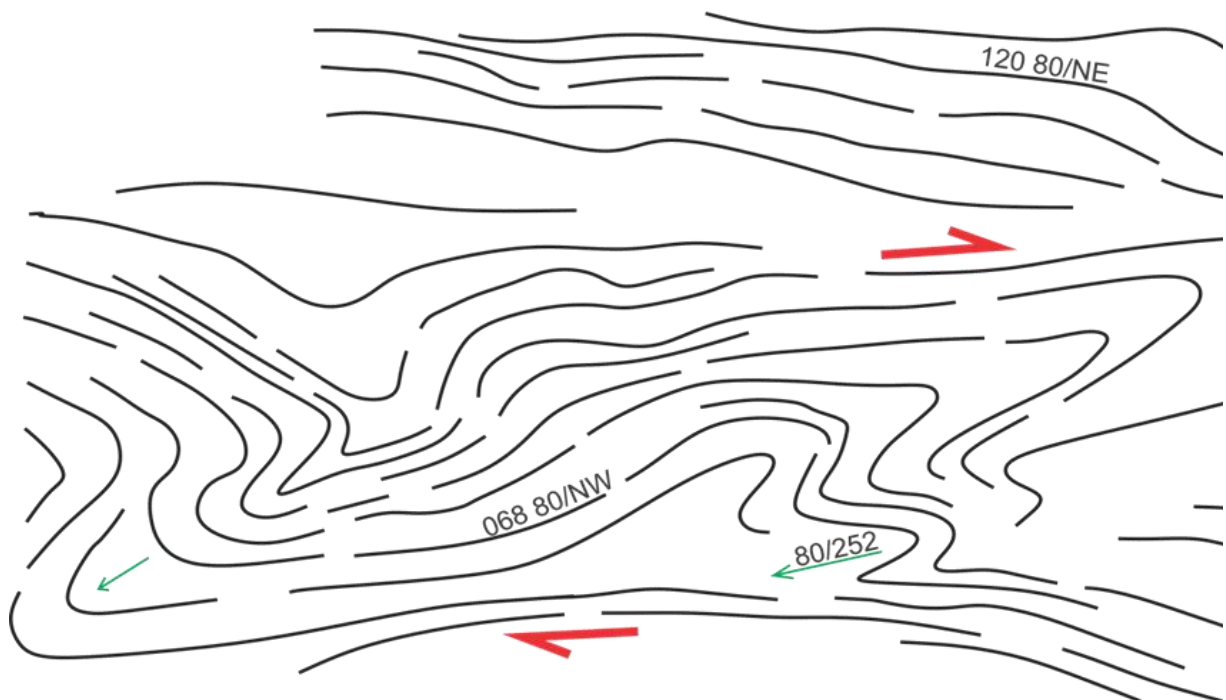
quanto assimétricas, com ângulo de caimento subvertical (80°), preferencialmente para 060°Az , caracterizando dobras verticais (Figura 18).

Figura 18 - (A) Dobra simétrica formada na metagrauvaca na Aba Sul. (B) Dobras de arrasto formadas no metarritmito na Aba Norte. (C) e (D) Dobras intrafoliais assimétricas, fechadas, com forma em Z, com ângulo de caimento do eixo subvertical, associadas a bandas de cisalhamento transcorrentes no metarritmito aflorante na Aba Norte.



Na Aba Norte foram identificadas dobras assimétricas no metarritmito, associados à zonas de cisalhamento transcorrentes, com rotação destal marcada por dobras em Z, onde os eixos variam de intermediários à subverticais ($40^\circ - 80^\circ$) com direção de caimento para NW (Figura 19 e Anexo A, ponto h).

Figura 19 - Dobras intrafoliais assimétricas associadas a bandas de cisalhamento que deformam o acamamento do metarritmito. Os ângulos de caimento dos eixos de dobra são subverticais, indicando a predominância da transcorrência, com rotação destal.

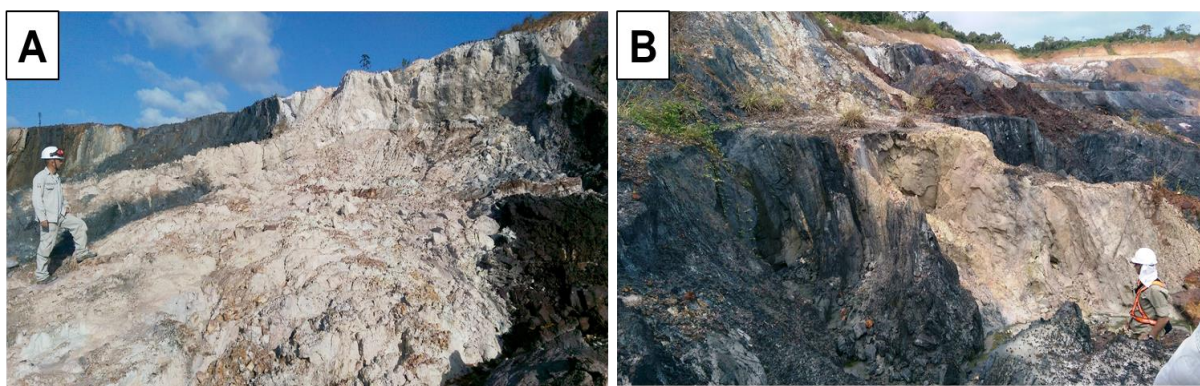


7.3 DIQUES

Fraturas extensionais quando preenchidas por magma e discordantes à outras estruturas recebem o nome de dique (FOSSEN, 2012).

Estas estruturas são bastante comuns entre as rochas aflorantes na Mina Aurizona. De acordo com os dados de campo são identificados pelo menos dois tipos de diques. O primeiro grupo (D1) compreende diques facilmente identificados pela coloração esbranquiçada (Figura 20A e 20B – Anexo A, ponto a) ou esverdeada de suas rochas, causada por alteração intempérica. Suas espessuras variam de 2 – 10 m e são discordantes ao acamamento das rochas metassedimentares encaixantes, dispostos segundo a direção 170° - 190° Az na Aba Sul e 140° - 160° Az, e por vezes com direção 120° AZ, subconcordantes com o acamamento na Aba Norte.

Figura 20 - (A) e (B) Diques de coloração branca do grupo um (D1) discordantes ao acamamento na Aba Sul. A identificação dos diques é facilitada pela cor de alteração intempérica contrastante.



Conforme relações de campo e rochas de testemunhos de sondagem não há evidências de metamorfismo de contato dessas rochas com os metassedimentos. Localmente a intrusão dessa rocha ígnea causa deformações nos metassedimentos, modificando localmente a posição do S_0 e/ou formando dobras. Pontualmente, no contato, são reconhecidos protocataclasitos (Figura 21B e C).

O segundo grupo (D2) se refere aos diques com espessura mínima de 30 cm e máxima de 1 m. Também apresentam elevado grau de alteração intempérica, a qual concede à rocha coloração lilás. Esse grupo se dispõe nas direções 030° Az e N-S, discordante tanto aos metassedimentos (Figura 22A) quanto ao primeiro grupo de diques, embora subordinadamente ocorram subconcordantes ao acamamento dos metassedimentos (Figura 22B).

Figura 21 - (A) Contato por truncamento do dique (D1) com o metarritmito, na Aba Norte, onde são formados protoclataclasitos vistos em (B) amostras de campo e (C) em amostras de testemunho de sondagem. (D) Esses diques também formam contatos abruptos com os metassedimentos.

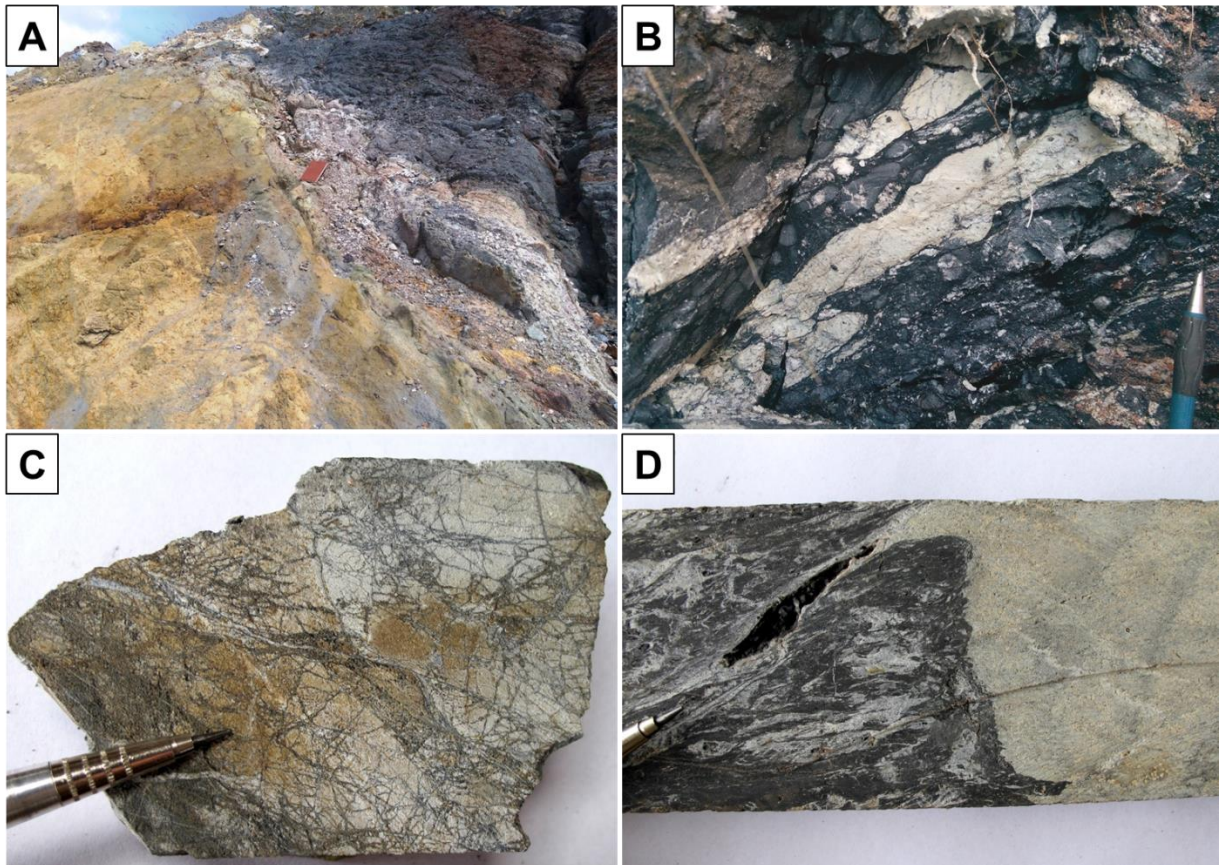
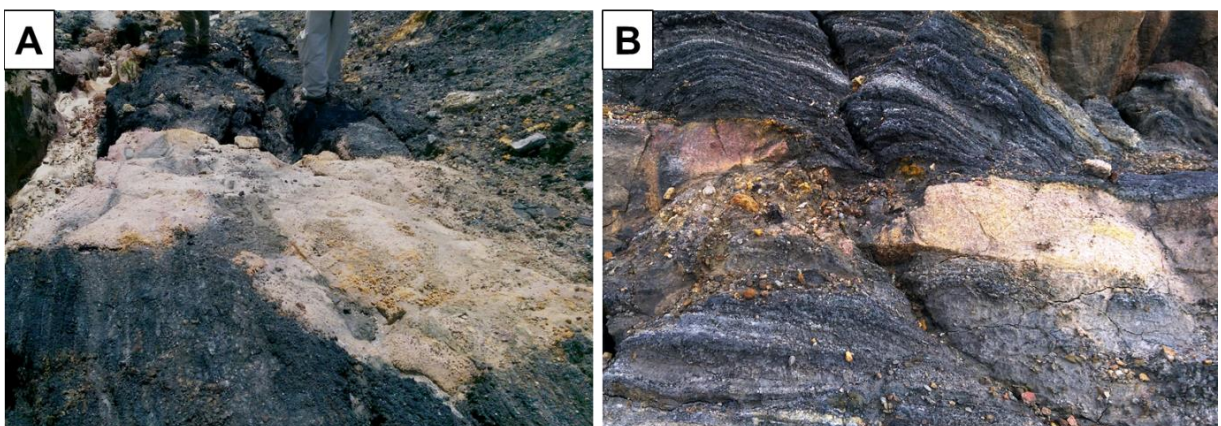


Figura 22 - Diques do grupo 2 (D2) de coloração lilás de alteração intempérica, (A) discordantes e (B) subconcordantes ao acamamento dos metassedimentos na Aba Norte.

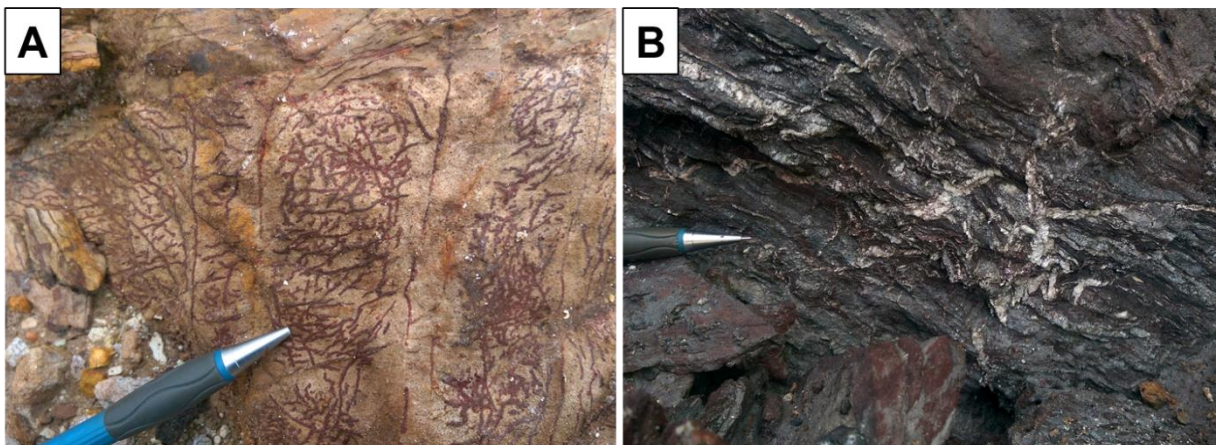


7.4 VEIOS

Fraturas extensionais quando preenchidas por um único mineral são designadas veios, embora a nomenclatura também seja usada para preenchimentos com mais de um mineral como no caso de veios quartzo-feldspáticos e veios quartzo-carbonáticos (FOSSEN, 2012).

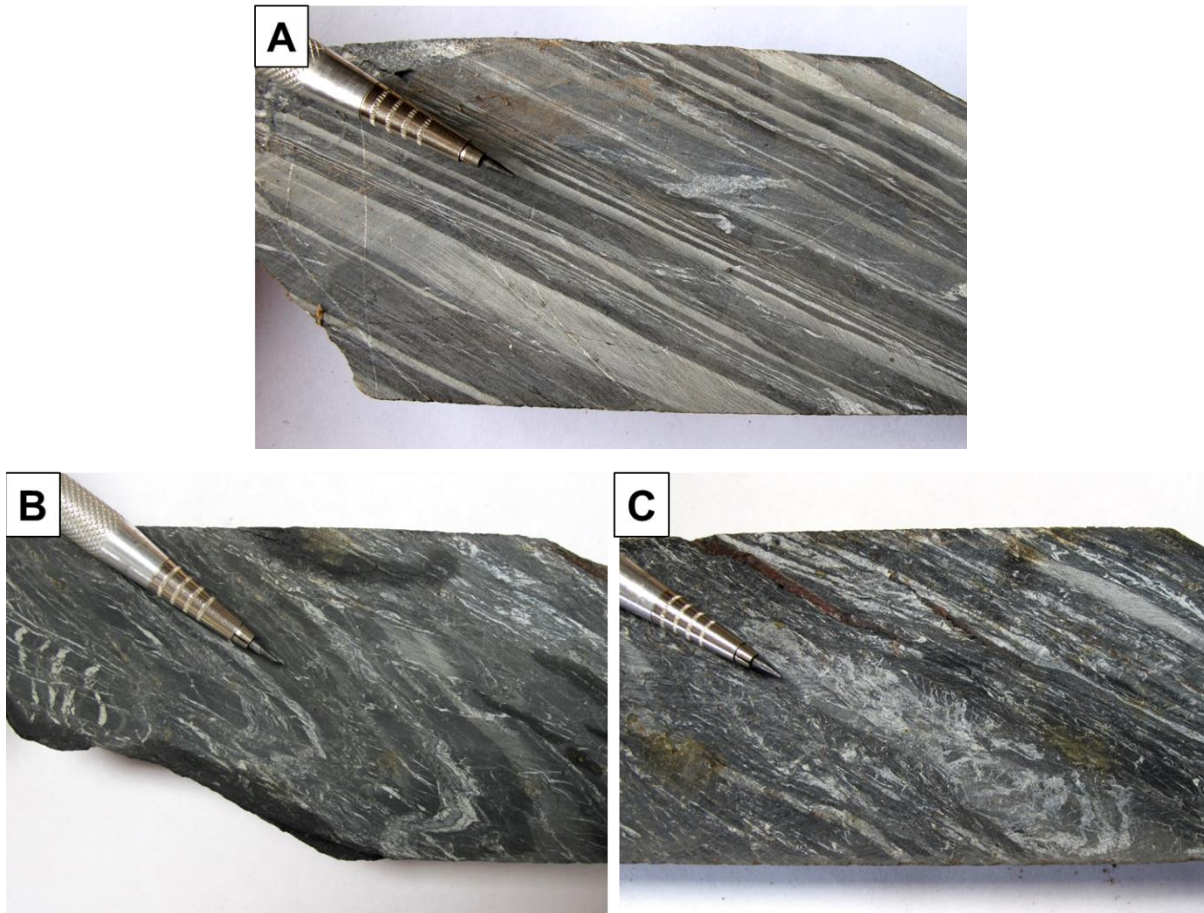
Os veios vistos na Mina Aurizona de composição quartzo-carbonática, por vezes contendo pirita e/ou mineralizados com ouro. Estes veios são discordantes aos metassedimentos e aos diques anteriormente descritos. Aparentemente não apresentam um tamanho padrão, embora ocorram comumente como finas vênulas, com espessura variando de 2 – 5 mm (Figura 23).

Figura 23 - Veios de composição quartzo-carbonática presentes (A) nos diques D1 e D2 e nas (B) metassedimentares.



A instalação destes veios implica localmente na deformação das metassedimentares, causando deslocamentos (falhas) milimétricos à centimétricos na foliação, rompimento de dobras, ou até mesmo, quando em grande quantidade, fazendo com que o S_0 seja parcial (Figura 24A e B) ou completamente obliterado (Figura 24C). Eles não apresentam direções preferencias de orientação, como visto na Figura 23A, configurando um padrão de veios *stockwork*.

Figura 24 - Amostras de testemunho de sondagem do metarritmito, onde (A) a porção distal da deformação causada por hidrotermalismo, onde o acamamento é bem preservado. (B) Porção intermediária, onde o acamamento é rompido e ocorrem falhas com rejeito milimétricos (2 - 6 mm). (C) Zona central de deformação onde o acamamento é quase completamente obliterado.



7.5 FALHAS

Falhas são superfícies ou zonas onde há deslocamento relativo entre os blocos, e este é paralelo à superfície de deslizamento. As falhas com deslocamento vertical são classificadas como normais se o bloco superior à superfície (teto) desliza para baixo em relação ao bloco inferior (piso). Quando o processo inverso acontece, as falhas são classificadas como inversas ou reversas. Em caso de deslocamento horizontal as falhas são chamadas de direcionais ou transcorrentes, onde a rotação pode ser dextral (sentido horário) ou sinistral (sentido anti-horário). Quando existem ambos os deslocamentos, vertical e horizontal, as falhas são definidas como obliquas (FOSSEN 2012; TWISS; MOORES, 2006; DAVIS; REYNOLDS; KLUTH, 2011).

Na Aba Sul são reconhecidas falhas de cavalgamento nas rochas metassedimentares, na direção 050° Az, onde o metachert compõe o teto e o metarritmito o piso (Figura 25A). Durante o deslizamento dos blocos são formados dobras de arrasto (Figura 25B), que auxiliam na determinação do movimento da falha. Falhas transcorrentes com direção preferencial N – S, rotação destal e rejeito centimétrico (2m) também são vistas neste local da mina, onde deformam o acamamento dos metassedimentos.

No Aba Norte as falhas identificadas são principalmente oblíquas, onde o deslocamento vertical é normal e a rotação horizontal é destal. O rejeito das falhas é notado principalmente pelo deslocamento relativo entre veios e diques, como visto na Figura 26A. Nesta porção da mina também são reconhecidas falhas transcorrentes, com direções variando de 300° Az à 030° Az, que causam deslocamentos centimétricos (1 – 5 cm) no acamamento das rochas metassedimentares (Figura 26B).

Figura 25 - Falha de cavalgamento entre as metassedimentares formando dobras de arrasto que auxiliam na determinação da cinemática.

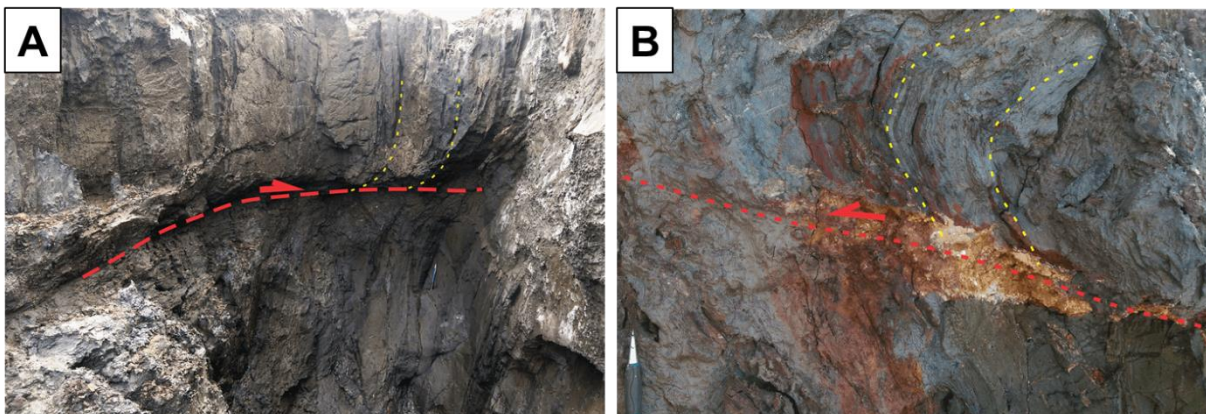
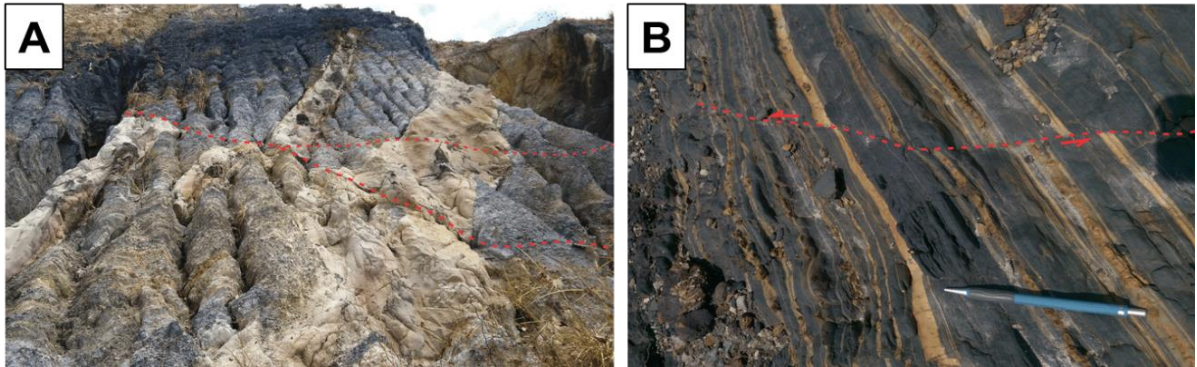


Figura 26 - (A) Falhas oblíquas deslocando diques (D2) e metassedimentares e (B) falha transcorrente com rotação destal, deformando as rochas metassedimentares na Aba Norte.



8 DISCUSSÕES

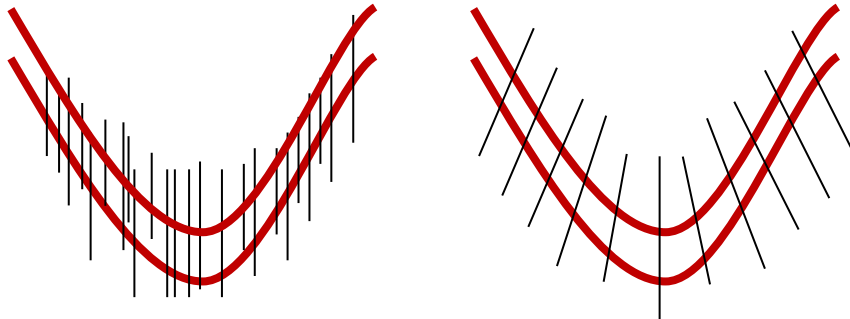
As rochas aflorantes na Mina Aurizona formam uma sequência metassedimentar, composta por metarritmitos, metagrauvas e metacherts, cordadas por diques e veios de diferentes estágios de colocação. As rochas metassedimentares apresentam acamamento primário (S_0) bem preservado, o qual tem direção preferencial NEE e ângulo de mergulho subvertical, variando entre 70° e 85° para NW. Nas rochas metassedimentares foi desenvolvida uma segunda foliação, caracterizada pela clivagem espaçada (S_1), a qual tem direção preferencial 130° Az na Aba Sul e 050° Az na Aba Norte. Uma terceira foliação (S_2) se desenvolve devido a instalação de bandas de cisalhamento, com atitude subconcordantes ao acamamento primário.

Através da identificação de estruturas primárias, como acamamento sedimentar, é possível ver que a deformação atuou de forma particionada nessas rochas, embora localmente existam bandas de cisalhamento dúcteis, onde as rochas metassedimentares estão milonitizados.

A presença da clivagem espaçada nas rochas metassedimentares pode indicar dobras, visto que rochas dobradas normalmente desenvolvem clivagem. A associação dessas duas estruturas é extremamente comum em rochas sedimentares ou de baixo grau metamórfico. Geometricamente a clivagem pode apresentar orientação em leque (*fan orientation*) ou ser paralela ou subparalela ao plano axial da dobra (DAVIS; REYNOLDS; KLUTH 2011). A clivagem, assim como a dobra, é uma resposta tardia ao encurtamento tectônico e em geral as duas se formam simultaneamente (FOSSEN, 2012). A relação entre o plano axial e a clivagem é melhor determinada na região da charneira (Figura 28), porque a orientação da clivagem muda progressivamente de um flanco da dobra para outro. Quando a clivagem cruza um contato litológico ela sofre refração, o que pode mudar a orientação e espaçamento dos planos de clivagem, que dependem muito da composição da rocha. (TWISS; MOORES, 2006).

Embora exista uma estreita associação entre clivagem e dobra, a relação entre estas estruturas não é clara nas rochas metassedimentares aflorantes na mina, devido a ausência de evidências mais seguras sobre as mesmas. A posição espacial da clivagem em relação às dobras pode ter sido modificada pelo processo de transposição durante a tectônica transcorrente, onde os flancos e/ou charneiras foram totalmente ou parcialmente transpostos.

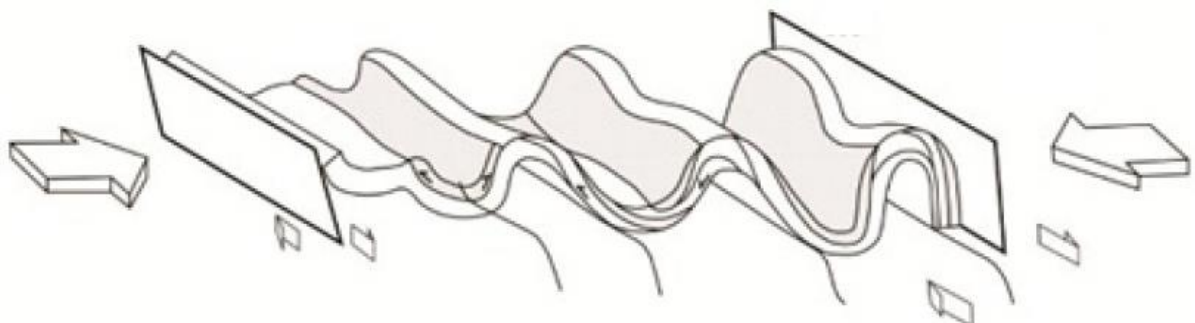
Figura 27 – Relação entre zona de charneira de dobra e clivagem. A clivagem se desenvolve paralelamente ao plano axial da dobra (esquerda) ou em orientação de leque (*fan orientation*) na região da charneira.



Fonte: Adaptado de Davis, Reynolds e Kluth, 2011.

As dobras encontradas nos afloramentos estão associadas a zonas de cisalhamento, nas quais a foliação milonítica é subconcordantes ao acamamento primário. Devido ao ângulo de caimento subvertical dos eixos de dobra pode-se inferir a predominância de componente de cisalhamento simples durante o desenvolvimento das mesmas, caracterizando dobras intrafoliais de arrasto. O predomínio de dobras em formato de Z sugere movimentação destal a essas zonas. A variação na direção de caimento do eixo de dobra pode ser atribuída à deformação heterogênea em regime transpressivo, onde há partição do *strain* (Figura 29) em diferentes domínios de deformação (BERGH et al., 2012).

Figura 28 – Dobras formas por deformação heterogênea em regime transpressivo, onde há mudança no sentido de caimento dos eixos de dobra.



Fonte: Adaptado de Bergh et al. 2012.

Por associação com rochas adjacentes (Formações Pirocaua e Matará), pela ausência de vulcânicas ultramáficas e pela relação com rochas plutônicas intrusivas,

de composição predominantemente granodiorítica (Granodiorito Bom Jesus), o conjunto de rochas metavulcanossedimentares vistas tanto na Mina Aurizona, quanto no furo BRAZD 436 é semelhante a sequências de rochas supracrustais presentes em *greenstones* de idade proterozoica.

As rochas metassedimentares do Grupo Aurizona, expostas na mina provavelmente de idade proterozoica, podem tratar-se da porção superior de sequências *greenstone*. É válido ressaltar a similaridade com as rochas sedimentares proterozóicas dos Supergrupos Birimian e Tarkwaian, os quais formam um sistema de *greenstones belts* proterozoicos (Sistema Birrimiano) na porção sul do Cráton Oeste Africano. Relações entre o Crátons São Luís e o Oeste Africano foram anteriormente descritas por Klein e Moura (2008).

Além da semelhança na associação litológica, existe também uma concordância na direção dos lineamentos regionais e direção nos planos de foliação das metassedimentares. Os lineamentos regionais predominantes (Figura 10), identificados por fotointerpretação, apresentam maior frequência na direção NW-SE, embora os lineamentos de maiores extensões disponham-se na NE-SW, do mesmo modo que rochas metassedimentares aflorantes na Mina Aurizona. Este mesmo arranjo é visto nos *greenstones* proterozoicos que compõem o Supergrupo Birimian e também nas rochas metassedimentares do Supergrupo Tarkwaian (Figura 6).

Outro fator a ser considerado na correlação entre as rochas do Grupo Aurizona e os *greenstones* proterozoicos do Cráton Oeste Africano é a posição espacial dos depósitos de ouro. Na Figura 6 nota-se que os depósitos de ouro estão majoritariamente localizados em Terrenos *Greenstones*, sobretudo alinhados aos lineamentos regionais, assim como o Depósito Piaba onde está com direção NE-SW, ao longo da falha transcorrente de mesmo nome.

A fragmentação do supercontinente Gondwana Ocidental causou a separação dos continentes Sul-Americano e Africano, causando a assim a abertura do Oceano Atlântico Sul, no Mesozoico. Durante este evento varias estruturas foram reativadas e, devido ao regime extensivo, sistemas e falhas normais, associadas ao intenso magmatismo, se instalaram em ambos os continentes.

Na Mina Aurizona são identificadas principalmente falhas normais e direcionais, com rotação destal, com direções preferenciais N-S e NE-SW. Essas direções são concordantes com alguns lineamentos regionais. Esses lineamentos

podem ter sido reativados como falhas durante a abertura do Oceano Atlântico e deformaram, em regime rúptil, as rochas do Cráton São Luís.

9 CONCLUSÃO

As rochas metassedimentares expostas na mina, de provável de idade proterozoica, têm sido referidas como parte do Cráton São Luís, com baixo grau de deformação e metamorfismo. As rochas examinadas apresentam estruturas sedimentares primárias (acumamento e/ou laminação) bem preservados, embora localmente encontrem-se deformadas por bandas de cisalhamento, veios e falhas.

A presença da clivagem espaçada (S_1), oblíqua e tardia ao acumamento, sugere a presença de dobras holomórficas, embora não haja evidências diretas das mesmas. A obliteração dessas dobras pode estar relacionada à tectônica transcorrente, ligada a Falha Piaba, que causou transposição total ou parcial dos flancos e/ou charneiras. A posição subvertical dos planos de foliação das rochas metassedimentares, juntamente com o desenvolvimento de zonas/bandas de cisalhamento subconcordantes ao acumamento são feições que causam transposição em diferentes intensidades. Estas rochas encontram-se intensamente cortadas por falhas, que também pode ter modificado a posição das dobras.

A granulação das rochas que afloram na Mina Aurizona é majoritariamente argila e areia fina, sugerindo, juntamente com a presença de laminação plano paralela, sedimentação em ambiente marinho profundo. Essa associação de rochas, composta principalmente por grauvacas e pelitos remete a parte de uma sequência *greenstone belt*. Esta constatação é corroborada pela posição dessas rochas no interior de região cratônica e pela intercalação com rochas vulcânicas.

Esse conjunto de rochas, assim como a presença de rochas vulcânicas máficas são característicos de *greenstones*. Essas rochas são intrudidas por plútons de composição granodiorítica (Granodiorito Bom Jesus), que são também características de Terrenos Granito-*Greenstone* Proterozoico/Arqueano.

Sendo o Craton São Luís um fragmento da porção sul do Cráton Oeste Africano, é possível correlacionar as rochas de ambos os crátons. Assim, as rochas metassedimentares aflorantes na Mina Aurizona, podem ser correlacionáveis com as rochas metassedimentares dos *Greenstones* Birrimianos. As rochas metassedimentares do Grupo Aurizona, atualmente englobadas na Unidade Metassedimentar Individida, apresentam maior semelhança com as rochas do Supergrupo Birimian, de ambiente marinho, em contraste com as rochas do Supergrupo Tarkwaian, de ambiente continental (fluvial). Essas rochas se

assemelham também por apresentar os mesmo estilos de mineralização (orogênico epi-mesothermal, encaixado ao longo de lineamentos NE-SW).

As falhas que cortam as rochas da Mina Aurizona podem estar associadas aos diques e ambos podem estar relacionadas com o quebramento do supercontinente Gondwana Ocidental e abertura do Oceano Atlântico.

As rochas metassedimentares do Grupo Aurizona já foram anteriormente descritas por vários autores, embora sejam são pouco estudadas com mais detalhes. Atualmente, somente as rochas metavulcânicas, localizadas nos arredores da região do Aurizona, são datadas. As rochas metassedimentares são agrupadas em uma unidade descrita como Unidade Metassedimentar Individida. Essas rochas podem apresentar um papel fundamental para um melhor entendimento do quadro evolutivo do Cráton São Luís, assim como para a prospecção mineral de ouro.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F.A.M.; VILLAS, R.N.N.; HASUI, Y. Esboço Estratigráfico do Pré-Cambriano da Região do Gurupi, Estado do Pará e Maranhão. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Balneário de Camboriú Anais... SBG. V.2, 1980. p.647-658.
- ADADEY, K., CLARKE, B., THÉVENIAUT, H., URIEN, P., DELOR, C., ROIG, J.Y. AND FEYBESSE, J.L. *Geological map explanation-Map sheet 0503 B (1:1 000 000), CGS/BRGM/Geoman. Geological Survey Department of Ghana (GSD).* 2009.
- BARNES, J. W.; LISLE, R. J. *Basic Geological Mapping.* John Wiley & Sons. 2013.
- BERGH, S. G., CHATTOPADHYA, A., RAVNA, E. K., CORFU, F., KULLERUD, K., ZWAAN, K. B., HOLDSWORTH, R. E. *Was the Precambrian Basement of Western Troms and Lofoten-Vesterålen in Northern Norway Linked to the Lewisian of Scotland? A Comparison of Crustal Components, Tectonic Evolution and Amalgamation History.* INTECH Open Access Publisher. 2012.
- KAMBER, B. S., BOLHAR, R., MOORBATH, S., WHITEHOUSE, M. AND COLLERSON, K. D.. *Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland. Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1555–73. 2005.
- BRITO NEVES, B. B. de. Glossário de Geotectônica. São Paulo: Oficina de textos. 2012.
- COE, A. L. (Ed.). *Geological field techniques.* John Wiley & Sons. 2010.
- CONDIE, K. C. *Greenstones through time. Developments in Precambrian Geology*, 11, 85-120. 1994.
- CONDIE, K. C. *Plate Tectonics and Crustal Evolution.* 3 ed. Oxford: Butterworth Heinemann. 1989.
- CONDIE, K. C. *Plate Tectonics and Crustal Evolution.* 4 ed. Oxford: Butterworth Heinemann. 2002.
- COSTA, J.L.; ARAÚJO, A.A.F.; BOAS, J.M.V.; FARIA, C.A.S.; SILVA NETO, C.S.; WANDERLEI, V.J.R. Projeto Gurupi. Belém, DNPM-CPRM. 1977. 258p. (Relatório Técnico).
- DAMPARE, S.B., SHIBATA, T., ASIEDU, D.K., OSAE, S. AND BANOENG-YAKUBO, B. Geochemistry of Paleoproterozoic metavolcanic rocks from the southern Ashanti volcanic belt, Ghana: Petrogenetic and tectonic setting implications. *Precambrian Research*, 162, 403-423. 2008.
- DAVIS, G. H., & REYNOLDS, S., KLUTH, C. F. *Structural Geology of Rocks and Regions.* In Wiley. 2011.

- FOSSSEN, H. *Geologia Estrutural*; Tradução: Fábio R. D. de Andrade – São Paulo: Oficina de textos. 2012.
- FRISCH, W., MESCHEDÉ, M., & BLAKEY, R. *Terranes*. In *Plate Tectonics* (pp. 131-138). Springer Berlin Heidelberg. 2011.
- GRIFFIS, R.J., BARNING, K., AGEZO, F.L. AND AKOSAH, F.K. *Gold deposits of Ghana*, Minerals Commission, Accra, 432pp. 2002.
- GUPTA, R. P. (2013). *Remote sensing geology*. Springer Science & Business Media.
- HASUI, Y. 2012. Cráton São Luís. In: Hasui et al. *Geologia do Brasil*. São Paulo, Beca. 2012. Cap 12, p: 248 – 253.
- DIXEY, F. (2015). *100 years of research on the West African Craton*. *Journal of African Earth Sciences*, 30, 1e5.
- KLEIN E.L., LUZARDO R., MOURA C.A.V., LOBATO D.C., BRITO R.S.C., ARMSTRONG R.A. *Geochronology, Nd isotopes, and reconnaissance geochemistry of volcanic and metavolcanic rocks of the São Luís Craton, northern Brazil: implications for tectonic setting and crustal evolution*. *Journal of South American Earth Sciences*, 27:129-145. 2009.
- FREITAS, S. C. F. D., KLEIN, E. L. *The mineralizing fluid in the Piaba gold deposit, São Luís cratonic fragment (NW-Maranhão, Brazil) based on fluid inclusion studies in quartz veins*. 2013.
- KLEIN, L.E. & MOURA, C.A.V. Síntese geológica e geocronológica do Cráton São Luís e do Cinturão Gurupi: implicações para a Litoestratigrafia e modelos geotectônicos. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 7., Belém. *In press*. 2001a.
- KLEIN, E.L., MOURA, C.A.V., KRYMSKY, R., GRIFFIN, W.L., *The Gurupi belt in northern Brazil: lithostratigraphy, geochronology, and geodynamic evolution*. *Precamb. Res.* 141, 83–105. 2005b.
- KLEIN, E.L., LUZARDO, R., MOURA, C.A.V., LOBATO, D.C., BRITO, R.S.C., ARMSTRONG, R., *Geochronology, Nd isotopes and reconnaissance geochemistry of volcanic and metavolcanic rocks of the São Luís Craton, northern Brazil*. 2008a.
- KLEIN, E.L., LARIZZATTI, J.H., MARINHO, P.A.C., ROSA-COSTA, L.T., LUZARDO, R., FARACO, M.T.L., *Folha Cândido Mendes – SA.23-V-D-II, Estado do Maranhão, Escala 1:100.000. Geologia e Recursos Minerais, CPRM/Servic, o Geológico do Brasil, in press*. 2008b.
- KLEIN, E.L., MOURA, C.A.V., PINHEIRO, B.L.S. *Paleoproterozoic crustal evolution of the São Luís Craton, Brazil: evidence from zircon geochronology and Sm–Nd isotopes*. *Gondwana Res.* 8, 177–186. 2005^a.

- KLEIN, E.L.; MOURA, C.A.V. *São Luís Craton and Gurupi belt (Brazil): possible links with the West-African craton and surrounding Pan-African belts*. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., de Wit, M.J. (Eds.), *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations across the South Atlantic Region*, vol. 294. Geological Society, London, pp. 137–151, Special Publications. 2008.
- WIT, M. J.; FURNES, H.; ROBINS, B. *Geology and tectonostratigraphy of the Onverwacht Suite, Barberton greenstone belt, South Africa*. *Precambrian Research*, 186(1), 1-27. 2011.
- MOHRIAK, W., & TALWANI, M. (Eds.). *Atlantic rifts and continental margins*. American Geophysical Union. 2000.
- NEVES, S. P. *Dinâmica do manto e deformação continental: uma introdução à geotectônica*. Ed. Universitária da UFPE. 2008.
- PARK, R. G., & JAROSZEWSKI, W. *Craton tectonics, stress and seismicity*. *Continental Deformation*, Pergamon, Oxford, 200-222. 1994.
- PASSCHIER, C. W. *Reconstruction of deformation and flow parameters from deformed vein sets*. *Tectonophysics*, 180(2-4), 185-199. 1990.
- PASSCHIER, C. W., & TROUW, R. A. J. *Microtectonics*, 366 pp. 2005.
- Trouw, R. A., Passchier, C. W., & Wiersma, D. *Atlas of Shear Zone Microstructures*. Springer. 2010.
- TROUW, R. A. J; PASSCHIER, C. W.; WIERSMA, D. *Atlas of Shear Zone and Microstructures*. Springer, 2010.
- PASTANA, J.M. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Programa Grande Carajás, Folha Turiaçu SA. 23-V-D - Pinheiro SA.23-Y-B, Estados do Pará e Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DNPM-CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 240p. 1995.
- PERROUTY, S., AILLÈRES, L., JESSELL, M.W., BARATOUX, L., BOURASSA, Y. AND CRAWFORD, B. *Revised Eburnean geodynamic evolution of the gold-rich southern Ashanti Belt, Ghana, with new field and geophysical evidence of pre-Tarkwaian deformations*. *Precambrian Research*, 204-205, 12-39. 2012.
- PERROUTY, S., JESSELL, M.W., BOURASSA, Y., MILLER, J., APAU, D., SIEBENALLER, L., VELÁSQUEZ, G., BARATOUX, L., AILLÈRES, L., BÉZIAT, D. AND SALVI, S. *The Wassa deposit: A poly-deformed orogenic gold system in southwest Ghana – Implications for regional exploration*. *Journal of African Earth Sciences*. 2015.
- PERROUTY, S., LINDSAY, M.D., JESSELL, M.W., AILLÈRES, L., MARTIN, R. AND BOURASSA, Y. *3D modeling of the Ashanti Belt, southwest Ghana: Evidence*

for a litho-stratigraphic control on gold occurrences within the Birimian Sefwi Group. Ore Geology Reviews, 63, 252-264. 2014.

PLUIJM, V. B. A., & MARSHAK, S. (2005). *Earth structure. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 149, 133-153.*

SMITH, A. J., HENRY, G., & FROST-KILLIAN, S. *A review of the Birimian Supergroup-and Tarkwaian Group-hosted gold deposits of Ghana. Episodes, 39(2), 177-197. 2016.*

SOARES, P. C., & FIORI, A. P. *Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Campinas–São Paulo, 71-140. 1976.*

TWISS, R.J.; MOORES, E.M. *Structural Geology. Freeman & Company, New York, 532p. 2 ed. 2006.*

ANEXOS