UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

WAGNER ROBERTO HANSTED POCAY

ANÁLISE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE Au E Cu DA REGIÃO DE PARAN-PERU

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Orientador: Luiz Sérgio Amarantes Simões

Rio Claro - SP
2009

WAGNER ROBERTO HANSTED POCAY

ANÁLISE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE Au E Cu DA REGIÃO DE PARAN-PERU

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências para obtenção do título de Mestre em Geociências.

Comissão Examinadora

_____

_____

_____

Rio Claro, SP ____ de _____ de _____

Resultado _____

551.8 Pocay, Wagner Roberto Hansted
P739a Análise estrutural do depósito de Au e Cu da região de Paran - Peru / Wagner Roberto Hansted Pocay. - Rio Claro : [s.n.], 2011
97 f. : il., figs., tabs., fots. + 2 mapa

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Luiz Sérgio Amarante Simões

1. Geologia estrutural. 2. Rochas aflorantes . 3. Encaixantes -Estudos petrográficos. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, pois é para eles que tento vencer as enrascadas nas quais me envolvo e a todos de minha família, pois sempre me deram apoio mesmo estando longe.

Agradeço muito a meus dois irmãos, Waldemar Henrique e Márcio Augusto. Principalmente ao Marcião, que, por estar em Rio Claro comigo durante os últimos cinco anos, teve mais facilidade para me ajudar e me apoiar, mesmo quando eu fazia alguma presepada.

Agradeço a Deus, pois creio que sempre olha por mim, principalmente nas horas difíceis.

Aos meus segundos pais, Seu Laudomiro e Dona Olinda, que me aturaram durante seis anos. Apesar de algumas vezes eu atrapalhar o sono deles, isto nunca foi problema para a boa convivência e amizade.

Agradeço especialmente ao meu querido orientador prof. Dr. Luiz S. A. Simões, que teve a maravilhosa idéia e a iniciativa de fazermos este projeto no Peru. Ele me acompanhou durante esses anos de graduação e pós. Sei que dei algumas mancadas, mas ele me entende, assim como eu também o compreendo, quando ele me apronta. Abração meu querido mestre!

Agradeço ao Prof. Dr. Elias C. Daitx que sempre me entusiasmou para procurar emprego, mas mesmo assim, resisti à tentação e fiquei até o fim no mestrado.

Agradeço imensamente ao “pai” Zaine, ao qual tenho como grande amigo e companheiro de basquete, de cervejinhas às sextas e um mestre que sabe acalmar e dar bons conselhos em horas ruins, mesmo que não saiba que o esteja fazendo.

Agradeço a todos os professores por terem me ajudado a me formar geólogo. Eles contribuíram em grande parte com seus conhecimentos e por isto lutarei sempre para que o Curso de Geologia de Rio Claro continue sendo um dos melhores do país.

Agradeço ao CNPq pelo incentivo da bolsa de estudos, através da qual pude desenvolver este projeto.

Agradeço aos grandes amigos que fiz no Peru, sobretudo Dennin T. Quispe Arapa, que foi uma das pessoas que viabilizaram este projeto. Ao meu companheiro de campo Richard, que sempre aturou meu portunhol que, imagino, seja insuportável.

A todos os grandes amigos que fiz durante o curso de geologia, principalmente ao pessoal que se formou em 2008, em cuja turma tem muitas pessoas às quais aprendi a gostar e tê-las por perto. Entre elas o Manu, a Saquê, a Jurubeba, o meninão Rodo, a Patrícia (Pivete), a Maira e a Lili, bons amigos e companheiros excelentes de bar e de festas.

Aos meus quatro companheiros de pós:

“Danié”, que com aquele jeitão quieto sempre está a postos para ajudar.

Ao Iata, que apesar de falar que vai ajudar e de acabar não fazendo é um ótimo companheiro em Rio Claro para dar umas escapadas de vez em quando.

Ao Bobó, que apesar de ter sido o primeiro dos “três patetas” a deixar a pós para ir trabalhar, o fez na hora mais certa e oportuna que poderia ter feito.

Ao meu grande parceiro de palhaçadas no Departamento durante esse um ano e meio de convivência e que foi o “segundo pateta” a deixar a pós. Agradeço-

o imensamente, pois sei que muito de meu crescimento enquanto geólogo devo às nossas discussões no DPM: Darqui.

Queria lembrar também da minha querida e companheira turma de aulas e daqueles que me acompanharam durante esses oito anos de faculdade e que ainda me acompanham.

Agradeço imensamente aos GEOBIZARROS por todas as alegrias e tristezas que passamos juntos, sem esquecer ninguém: Track, Truta, Zorbão, Lingüiça, Naldo, Pamonha, o sempre lesado Iaba, Bamby, Minhoca o aproveitador, Juliano, Darqui, Sabugo From Hell, PS, Cinderela, Vira-lata o Forest Gump, Gaucho, Boye, Bobó, Vo o briguentinho, e os anexos Vinhedo, Iata e Manu.

Resumo

Na cidade de Paran, província de Huaura–Peru, ocorre um depósito de Au e Cu, com caráter epitermal de média a baixa sulfetação. A área foi o objeto de estudo da presente dissertação de mestrado, onde foram mapeadas as rochas aflorantes em escala 1:5.000. Neste trabalho são apresentados os resultados dos estudos petrográficos das encaixantes, representadas essencialmente por seqüências vulcânicas intermediárias, havendo também a presença de rochas intrusivas de caráter básico. A paragênese mineral dos veios mineralizados também foi objeto de estudo deste trabalho. Devido à área estar localizada em uma região de intenso tectonismo, o estudo e a caracterização das diversas estruturas foi efetuado a fim de definir qual sua influencia no minério. O estudo de paleo-esforço também foi alvo desta dissertação a fim de melhor caracterização das tensões atuantes na área e definir um modelo tectônico para o depósito. Com o trabalho realizado foi possível individualizar melhor os litotipos, reconhecer um complexo arranjo estrutural formado por três famílias de fraturas distintas cuja cinemática das duas principais famílias (NE e SW) foram obtidas e distinguir que os dois sistemas de veios principais são gerados em eventos tectônicos distintos.

Abstract

In the city of Paran, Huaura province, Peru, occurs a deposit of Au and Cu, with epithermal character from médium to low sulphidation. The área was the object of study of this dissertation, where the outcrop rocks have been mapped in scale of 1:5.000. This master work presents the results of petrographic studies of hosted rocks of the mineralization, represented mainly by intermediate volcanic sequences, also with the presence of intrusive rocks of basic to intermediate character. The mineral paragenesis of the mineralized veins was also the subject of this study. Given the fact that the area is located in a region of intense tectonic plates, the study and characterization of various structures was carried out to define what is it influence in the ore. The study of paleo-stress was also the object of this dissertation in order to better characterize the stresses acting in the area and set a tectonic model for the deposit. In the end, it was possible to identify the best rock types, to recognize a complex structural arrangement consisting of three distinct fracture families whose kinematics of the two main fracture families (NE and SW) were obtained and it was possible to identify that both systems of veins were generated in different tectonic events.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Localização da área com as principais estradas de acesso..... 16
Figura 2. 1: Detalhe da geologia que circunda o Projeto Invicta (Modificado de JARAMILLO, 2006).....23
Figura 2. 2: Disposição das intrusões e segmentação do Batólito Costeiro na costa peruana. Os grandes segmentos estão individualizados com seus nome (retirado de COBBING, 1982). 25
Figura 2. 3: Mapa tectônico do Peru (INGEMMET, 1999) 27
Figura 2. 4: Mapa das províncias tectônicas do norte do Peru (Modificado de WILSON, 2000). 28
Figura 3. 1: Foto aérea mostrando localização da área do projeto e cidades próximas. 29
Figura 3. 2: Mapa ilustrando os Domínios estratigráficos..... 31
Figura 3. 3: Tufo de cinza da unidade DSSE2; é possível ver a estratificação primária marcada por bandas decimétricas..... 33
Figura 3. 4: Tufo da Unidade DSSE2; é possível ver a mudança de granulação das camadas, onde a superior é muito fina (tufo de cinza) e a inferior possui fragmentos centimétricos envoltos por matriz de cinza. 34
Figura 3. 5: Fotomicrografias mostrando o arranjo microscópico da unidade DSSE2, observa-se fragmentos arrendondados envoltos em matriz fina. 35
Figura 3. 6: Fotomicrografia do andesito da unidade DSSE3. Observa-se os pequenos fenocristais de plagioclásio da matriz em contraste com os fenocristais, também de plagioclásio, centimétricos envoltos por ela. 36
Figura 3. 7: Bloco de brecha da unidade DSSE4, brecha vulcânica com fragmentos maiores que 6cm (MP-402). 37
Figura 3. 8: Andesito da unidade DSSE5, mostrando os fenocristais de plagioclásio centimétricos envoltos em matriz fina com pequenos fenocristais de plagioclásio e concentrações de opacos. 38
Figura 3. 9: Andesito porfirítico da unidade DE1, a coloração verde clara é devido a alteração, porém a coloração verde escura é observada nas amostras sãs pois a quantidade de piroxênios é alta. 40
Figura 3. 10: Fotomicrografia do andesito porfirítico com fenocristais centimétricos de plagioclásio e piroxênios envoltos em matriz com opacos. 40
Figura 3. 11: Afloramento da brecha polimítica da unidade DE2, observa-se uma clara estratificação primária formada por camadas mais espessas, onde há clastos maiores de rochas, e camadas mais finas onde existem poucos fragmentos de rochas, sendo constituída principalmente por cinza 42
Figura 3. 12: Afloramento de andesito da unidade DNW1 43
Figura 3. 13: Fotomicrografia do andesito da unidade DNW1, mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênios envolto em matriz fina 43
Figura 3. 14: Fotomicrografia de um veio de malaquita dentro da unidade DNW1 44
Figura 3. 15: Afloramento de brecha da unidade DNW2, onde é possível ver os fragmentos com tamanho entre 2 a 4 centímetros com coloração roxo escuro enquanto a matriz é roxo mais claro 45
Figura 3. 16: Afloramento de andesito com amígdalas preenchidas por clorita e epidoto da unidade DNW4, é possível observar textura fluidal (linhas em vermelho) marcada por amígdalas com feição ovalada. 47

Figura 3. 17: Fotomicrografia do andesito da unidade DNW4 mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênios envoltos em matriz fina..... 47
Figura 3. 18: Afloramento de andesito da unidade DNW5, mostrando a estratificação primária. 49
Figura 3. 19: Afloramento de brecha de coloração verde clara com fragmentos de rochas com até 40 a 50 cm. 50
Figura 3. 20: Afloramento de brecha vulcânica com estratificação primária (traços inclinados para a direita) que pode ser visível a distância, porém pouco visível em afloramento. 51
Figura 3. 21: Afloramento do dique de andesito porfirítico da unidade DNW8 (afloramento MP-102), as linhas vermelhas limitam o dique e sinalizam sua inclinação 53
Figura 3. 22: Amostras de mão do andesito porfirítico do dique da unidade DNW9, observa-se os grandes fenocristais de plagioclásio (afloramento MP-98)..... 53
Figura 3. 23: Fotomicrografias mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênio envoltos em matriz fina, ocorrem alguns opacos..... 54
Figura 3. 24: Afloramento do dique de diorito é possível marcar facilmente o contato dele com a encaixante na maior parte de sua parte aflorante. 55
Figura 3. 25: Fotomicrografia mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênio envoltos em matriz média a fina. Nota-se também a presença de opacos 55
Figura 3. 26: Fotomicrografia do riolito da unidade DNW10, mostrando uma rocha fina a muito fina. 56
Figura 3. 27: Afloramento mostrando o contato do riolito da unidade DNW10 (lado direito do traço vermelho) e a brecha da unidade DNW2 (lado esquerdo do traço vermelho). Geralmente nas paredes do contato são encontrados cristais de pirita (afloramento MP-87)..... 57
Figura 3. 28: Fotomicrografia do andesito da unidade DA1 mostrando os fenocristais de plagioclásio e máficos já bem alterados envoltos em matriz fina . 58
Figura 3. 29: Fotomicrografia do diorito da unidade DP, observam-se grandes fenocristais de plagioclásio e fenocristais de piroxênio já bem alterados envoltos por matriz fina a média. Também nota-se a presença de opacos, o que é constante em afloramentos 60
Figura 3. 30: dos veios hidrotermais mais expressivos da área. 62
Figura 4. 1: Mapa de localização das principais falhas estudadas na área..... 70
Figura 4. 2: Ilustra o plano de estratificação primária em seqüência de tufos e brechas vulcânicas (Porção leste da área de estudo unidade DE2; ponto MP-161). 71
Figura 4. 3: Andesitos com estratificação primária da unidade DE1; ponto MP-259. 72
Figura 4. 4: Estereograma de contorno da estratificação primária de toda a área. Número de medidas: 173; Máximo: N82W/32NE. 72
Figura 4. 5: Estereograma de contorno da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DSSE. Número de medidas: 29; Máximos: N42E/20SE, N32W/27NE. 73
Figura 4. 6: Estereograma de contornos da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DE. Número de medidas: 76; Máximo: N80W/33NE..... 74
Figura 4. 7: Estereograma de contornos da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DNW. Número de medidas: 68; Máximo: N89E/30NW. 74

Figura 4. 8: Estereograma de contornos das fraturas medidas em toda a área. Número de medidas: 1040; Máximos: N50E/80NW, N45E/85SE, N55W/70SW, N85E/80SE. 75
Figura 4. 9: Estereograma de contornos das fraturas com direção NW medidas em toda a área. Número de medidas: 324; Máximos: N60W/70SW. 76
Figura 4. 10: Foto com visada para NW mostrando as fraturas paralelas referentes ao sistema NW (Veio Pucamina), ponto MP-150. 77
Figura 4. 11: Foto mostrando o par conjugado que pode ocorrer nas fraturas da família NW, ponto MP-639. 77
Figura 4. 12: Mostrando veio de quartzo com pirita logo a esquerda do martelo, e logo a direita, na porção esverdeada, rocha (andesito) com malaquita (Foto com visada para WNW). 78
Figura 4. 13: Bloco diagrama mostrando o movimento relativo sinistral normal entre os Blocos separados pelas falhas NW 79
Figura 4. 14: Estereograma de contorno das fraturas com direção NE medidas em toda a área. Número de medidas: 550; Máximos: N50E/85NW e N50E/85SE. ... 81
Figura 4. 15: Estereograma de contornos das fraturas medidas no veio Atenea. Número de medidas: 72; Máximos: N54E/60SE, N80W/85SW 81
Figura 4. 16: Estereograma com os círculos máximos e as estrias das falhas do veio Idália. Número de medidas: 12. 82
Figura 4. 17: Estereograma de contornos das fraturas com direção E-W medidas em toda a área. Número de medidas: 166; Máximos: N88E/78SE. 83
Figura 4. 18: Mapa de localização das principais falhas que foram submetidas a análise de paleoesforço..... 86
Figura 4. 19: Estereograma mostrando os círculos máximos e estrias associadas a cada plano de falha gerado pelo programa TectnicsFP. 87
Figura 4. 20: Círculos máximos das medidas da falha Pucamina com direção NW e mergulho para SW..... 88
Figura 4. 21: Valores de P e T, equivalentes respectivamente a σ_1 e σ_3 para as medidas de falhas e estrias obtidas na falha Pucamina. P= 104/35, B= 270/54, T= 10/06, figura obtida a partir do software Tectonics FP. 89
Figura 4. 22: Estereograma com as principais medidas de falhas com estrias da estrutura Atenea. 90
Figura 4. 23: Estereograma com as medidas de falhas pertencentes ao sistema Atenea com direção N40ºE e suas respectivas estrias. 91
Figura 4. 24: Eixos do elipsóide de tensão para as falhas estriadas com direção NE do Sistema Atenea, P= 274/68, B= 49/19 e T= 142/12 91
Figura 4. 25: Estereograma com as medidas de falhas e suas respectivas estrias com direção EW. 92
Figura 4. 26: Eixos do elipsóide de tensão para as falhas estriadas com direção EW do Sistema Atenea. 93
Figura 4. 27: Estereograma com as medidas de falhas e suas respectivas estrias para o sistema Idália com alto ângulo de mergulho. 94
Figura 4. 28: Eixos do elipsóide de deformação para as falhas estriadas do Sistema Idália, onde o eixo P corresponde ao eixo de maior encurtamento, correspondendo a σ_1 e o eixo T corresponde ao eixo de maior estiramento correspondendo a σ_3. 94

Figura 4. 29: Bloco diagrama mostrando ,o sentido de movimento das falhas NW e a movimentação dos blocos, o elipsóide representa a posição do sigma 1 (σ1) e sigma 3 (σ3). 96
Figura 4. 30: Bloco diagrama ilustrando o sentido de movimento das falhas da família NE e a movimentação dos blocos. O elipsóide representa a posição do sigma 1 (σ1) e sigma 3 (σ3). 97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela comparativa das unidades compostas por andesitos. 66
Tabela 2: Tabela comparativa das unidades compostas por brechas e tufos. 67

SUMÁRIO

1 – Introdução. **14**
1.1 – Idealização do Trabalho. 14
1.2 - Localização da área e vias de acesso. 15
1.3 – Objetivos. 17
1.4 - Métodos e Etapas de Trabalho. 17
2 - Geologia Regional. **20**
2.1 - Contexto Geral. 20
3 - Geologia do Depósito Invicta. **29**
3.1 – Unidades Litoestratigráficas. 30
3.2 – Domínio Sul-Sudeste (DSSE). 31
3.2.1 – Unidade DSSE1. 31
3.2.2 – Unidade DSSE2. 32
3.2.3 – Unidade DSSE3. 35
3.2.4 – Unidade DSSE4. 36
3.2.5 – Unidade DSSE5. 38
3.3 – Domínio Leste (DE). 39
3.3.1 – Unidade DE1. 39
3.3.2 – Unidade DE2. 41
3.4 – Domínio Noroeste (DNW). 42
3.4.1 – Unidade DNW1. 42
3.4.2 – Unidade DNW2. 44
3.4.3 – Unidade DNW3. 46
3.4.4 – Unidade DNW4. 46
3.4.5 – Unidade DNW5. 48
3.4.6 – Unidade DNW6. 49
3.4.7 – Unidade DNW7. 51
3.4.8 – Diques. 52
3.5 – Domínio Atenea (DA). 57
3.5.1 – Unidade DA1. 58
3.5.2 – Unidade DA2. 58
3.5.3 – Unidade DA3. 59
3.6 – Domínio Plutônico (DP). 59
3.7 – Veios Hidrotermais. 61
3.7.1 – Sistema Pucamina. 61
3.7.2 – Sistema Atenea – Idália. 63
3.7.3 – Sistema Juan e Danni. 64
3.7.4 – Sílica Cap. 65
3.8 – Possíveis Correlações para as Unidades Litológicas Descritas. 65
3.8.1 – Correlação entre as unidades DSSE1 e DA1 e DSSE2 e DA2. 67
3.8.2 – Correlação entre as unidades DE2 e DNW6. 68
4 – Geologia Estrutural da Área. **69**
4.1 – Estratificação Primária. 70
4.2 – Fraturas. 74
4.2.1 – Família de fraturas NW. 75
4.2.2 – Família de fraturas NE. 79
4.2.3 – Família de fraturas E-W. 82
4.3 – Relação Temporal entre as Três Famílias de Fratura. 83

4.3 – Dados de Paleoesforço. 84
4.3.1 – Falha Pucamina. 87
4.3.2 – Falha Atenea. 89
4.3.3 – Falha Idália. 93
4.4 – Modelo Tectônico. 95
4.5 – Discussão dos modelos propostos para a área. 98
5 – Conclusões. **99**
6 – Bibliografia **101**

1 – Introdução.

1.1 – Idealização do Trabalho.

Ambientes tectônicos de colisão de placas são excelentes para estudos relacionados à geologia estrutural e geotectônica, já que são sítios onde a ocorrência de estruturas geológicas como falhas, juntas e dobras são comuns.

A cadeia de montanha dos Andes é um exemplo moderno deste tipo de ambiente geológico, sendo associada à um arco magmático decorrente da zona de subducção que envolve a placa oceânica de Nazca e a placa continental da América do Sul, determinando uma colisão continente-oceano, associada a arco magmático continental.

No âmbito da geologia econômica, estes ambientes são propícios para a alocação de depósitos do tipo cobre pórfiro, hidrotermais de baixa à alta sulfetação, entre outros que são comuns de ocorrerem em áreas de ascensão de magma.

A colisão entre as placas oceânica e continental favorece a formação de magmas básicos oriundos da fusão parcial da crosta oceânica, subductada sob a crosta continental. Ao ascender, este magma acaba incorporando elementos siálicos da crosta continental, vindo a extravasar ou intrudir como magmas intermediários.

Devido à importância dos arcos magmáticos quanto ao potencial metalogenético, a região central do Peru vem sendo amplamente pesquisada para recursos minerais, e várias áreas que anteriormente foram descartadas, voltaram a ter importância econômica devido ao alto preço do ouro.

É o caso da região de Paran, província de Huaura, no Peru central, onde ocorre um depósito de Au e Cu, cujos trabalhos de prospecção estão sendo retomados e a viabilidade da área está em análise.

O depósito é caracterizado como epitermal de baixa a média sulfetação, onde o minério encontra-se locado em veios de quartzo com sulfetos principalmente de Pb, Cu e Fe, controlados por fraturas de alto ângulo, encaixados em andesitos e tufos andesíticos pertencentes à Supergrupo Calipuy e dioritos do Batólito Costeiro.

Este trabalho trata da caracterização estrutural e litológica do depósito Invicta, locado na região de Paran. O trabalho foi viabilizado devido à cooperação entre a UNESP e a empresa Invicta Mining Corporation, que detém os direitos minerários da área e consentiu o acesso e apoio logístico para a realização deste trabalho.

1.2 - Localização da área e vias de acesso.

A área de estudo se localiza nas proximidades da cidade de Paran, na província de Huaura, no Peru central, a aproximadamente 250 km a Norte da cidade de Lima, capital peruana (Figura 1.1). Corresponde a um polígono irregular que abrange cerca de 4 km^2.

O acesso à área é feito através da rodovia Panamericana, que corta toda a costa oeste Sul Americana, indo desde o Sul do Chile até o Norte da Colômbia. Partindo-se de Lima, são aproximadamente 153 km nesta via de acesso até a cidade de Huaura. A partir deste ponto se toma uma rodovia vicinal por mais 69 km aproximadamente até a cidade de Huamboy. Então sobe-se até a altitude de 3.400 m em uma estrada não pavimentada ao longo de 30 km até o acampamento do projeto, situado nos arredores da cidade de Paran.

Figura 1. 1: Localização da área com as principais estradas de acesso.

1.3 – Objetivos.

O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização estrutural do depósito de Invicta e das rochas encaixantes.

Para tal a ferramenta utilizada foi o mapeamento lito-estrutural na escala de 1:5.000, acompanhado pela análise cinemática das estruturas reconhecidas.

1.4 - Métodos e Etapas de Trabalho.

A realização deste trabalho envolveu as seguintes atividades:

1: Análise Bibliográfica.

Foi realizada durante todo o projeto de pesquisa, consistindo no levantamento e leitura dos trabalhos mais significativos e atuais da área de estudo além de textos sobre os conceitos referentes à tipologia do depósito, estruturas rúpteis, arco magmático e tectônica de zonas de convergência de tipo andino.

2: Coleta de dados em campo.

O trabalho de campo foi realizado em duas etapas, 30 dias entre setembro e outubro de 2007 e 30 dias entre janeiro e fevereiro de 2008.

Foram realizados o mapeamento geológico de superfície em escala 1:5.000, com coleta de amostras de rocha e minério para estudos petrográficos, e o levantamento das estruturas geológicas.

A coleta de amostras visa caracterizar todas as unidades definidas em campo, sendo o mais representativa possível.

Quanto à obtenção de dados estruturais, foi utilizada a nomenclatura azimutal levando em conta a reta de maior mergulho, porém neste relatório será usada a notação de quadrante.

As estruturas coletadas foram estratificação primária, fraturas, falhas, estrias e degraus.

A estratificação primária das rochas foi coletado a fim de verificar possíveis indícios de basculamento de blocos e perturbações provocadas devido às falhas.

Para a coleta de planos de falha sempre foi tomada atenção de verificação de estrias e degraus que pudessem indicar sentido de movimento das estruturas. Quando não havia certeza de que era uma falha, a estrutura foi considerada como uma fratura.

3: Tratamento dos dados obtidos.

Esta atividade foi desenvolvida continuamente desde o final dos trabalhos da primeira etapa de campo. Para a confecção de mapas utilizou-se do software ArcGis versão 9.2, que permite uma ótima visualização dos dados obtidos, porém o software Auto CAD 2006 também foi utilizado para auxílio e transposição dos dados fornecidos pela empresa.

Os esterogramas foram gerados no software Steronet versão 3.03, onde os gráficos, para fins de melhor apresentação foram tratados no software Corel Draw X3.

Para a análise e determinação de paleoesforços, foi usado o software FaultKinWin versão 1.2.2, desenvolvido por Richard W. Allmendinger em 2001.

4: Análise petrográfica.

Para esta atividade foi possível contar com o apoio do Laboratório de Laminação pertencente ao Departamento de Petrologia e Metalogenia da UNESP de Rio Claro. As análises petrográficas foram realizadas no Laboratório de Microscopia também pertencente ao mesmo departamento da mesma universidade.

Foram confeccionadas 70 lâminas delgadas das encaixantes do minério para caracterização petrográfica e 18 lâminas polidas para identificação da paragênese do minério. Além disso, foram confeccionadas 8 lâminas bipolidas para análise de inclusões fluidas, das quais fez-se apenas a petrografia preliminar.

5: Confecção do texto de dissertação de mestrado e do relatório para a empresa.

Os dados obtidos, os resultados das análises empregadas e as conclusões são apresentados neste volume a fim de submissão do mesmo para dissertação de mestrado e outorga do título de mestre.

2 - Geologia Regional.

2.1 - Contexto Geral.

Do ponto de vista geotectônico a área se insere em um ambiente colisional, onde há a subducção da placa oceânica de Nazca (Pardo-Casas e Molnar 1987) sob a placa continental Sul Americana. Esta colisão possui caráter incomum, já que é uma subducção cuja placa oceânica possui baixo ângulo de mergulho (tipo *flat slab*) sob a placa continental (Hunen, 2002; Ramos, 2002).

Este tipo de subducção corresponde a cerca de 10% das margens convergentes ativas atuais (Hunen, 2002). É um ambiente muito incomum, já que não gera arco magmático, pois devido ao baixo ângulo de mergulho da placa subductada, o contato entre a astenosfera e a crosta oceânica hidratada é ausente, impedindo a fusão parcial da placa subductada, não gerando arcos magmáticos (Hunen, 2002).

Poucos setores da cadeia andina conseguiram preservar os indícios da subducção de baixo ângulo entre as placas de Nazca e a placa Sul Americana no Cenozóico (Ramos, 2002), sendo assim desde Steinmann 1929 considerou-se que houveram poucas fases deformacionais na cadeia andina (Pardo-Casas e Molnar, 1987).

Porém, a evolução tectônica da Cadeia de Montanhas dos Andes no Cretáceo, época em que a subducção não era do tipo flat slab, considera que a compressão de oeste para leste possui 4 fases importantes (Jaillard e Soler, 1996):

1- Uma zona de costa marcada pelo desenvolvimento de um arco magmático ativo principalmente no Albiano;
2- Subsidência e mobilidade da zona oeste onde se acumularam depósitos marinhos pouco espessos;
3- Uma redução de sedimentação e subsidência;
4- No leste ocorre baixa subsidência, formação de bacias estáveis com aporte de sedimentos mistos tanto marinhos quanto continentais.

A maioria dos autores considera que houve uma contração contínua durante a evolução andina, porém em escala local observa-se que houve vários eventos deformacionais episódicos caracterizados por pequenos pulsos de contração separados por quiescência tectônica ou colapsos extensionais da orogenia (Wise, 2008).

Os Andes peruanos são subdivididos em dois principais segmentos montanhosos; a Cordilheira Oriental, que é formada por depósitos sedimentares dobrados mais antigos; e a unidade geomorfológica da Cordilheira Ocidental, constituída de rochas vulcânicas e magmáticas, principalmente.

A área deste trabalho está inserida na Cordilheira Andina Ocidental Peruana, localizada imediatamente a oeste da Cordilheira Andina Oriental, sendo formada por um cinturão de rochas continentais de composição dominantemente andesítica (Cobbing, 1982).

Do ponto de vista geomorfológico a Cordilheira Ocidental é de grande importância, marcando o grande divisor de águas do Peru, dividindo as águas que vão para o Pacífico e as águas que se dirigem ao Atlântico. Possui rumo preferencial NW-SE, sendo constituída por rochas mesozóicas e cenozóicas, que recobrem rochas paleozóicas, que podem ser observadas em algumas janelas de erosão (Wetzell, 1982).

Também nesta unidade geomorfológica se encontram superfícies de erosão de épocas diferentes que são encontradas nas altitudes acima de 3500m, sendo que a mais importante é a Superfície de Puna, que mostra relevo suavemente ondulado, datada do Terciário Superior. Estas várias superfícies de

aplainamento são devidas ao contínuo soerguimento causado pelas diferentes fases da Tectônica Andina (Wetzell, 1982).

Dentro deste contexto geomorfológico, se encontram seqüências vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentos associados, além de rochas ígneas que estão intrudindo as seqüências mais antigas.

Quanto ao contexto essencialmente geológico, a Cordilheira Ocidental apresenta associações vulcânicas do Grupo Casma, do Grupo Goyllarisquizga e do Supergrupo Calipuy (Cobbing, 1982; Bissig, 2008), parte das quais são as encaixantes das rochas intrusivas do Batólito Costeiro (Figura 2.1).

Na porção costeira, encontram-se as rochas vulcânicas do Grupo Casma, depositado em ambiente subaquoso de "*back arc*", datadas do Eo-Cretáceo (Bissig 2008), compostas essencialmente por andesitos maciços e piroclásticas epidotizadas, de ambiente predominantemente marinho, de idade entre Cretáceo Inferior a Médio (Jaramillo, 2006) (Figura 2.1).

O Grupo Goyllarisquizga ocorre na porção Leste da Cordilheira Ocidental, composto por rochas sedimentares de ambiente predominantemente marinho plataformal, principalmente calcário com um leve aporte de sedimentos siliciclásticos, de idade cretácea média (Bissig, 2008). Estas rochas apresentam-se levemente deformadas, com fraturamento e dobramento e são encaixantes de veios de metais base e depósitos de remobilização na porção mais centro-leste do Peru (Jaramillo, 2006).

As vulcânicas do Supergrupo Calipuy são datadas do Cenozóico (Hollister *et al*., 1978, Bissig, 2008). São compostas essencialmente (80%) de vulcânicas de ambientes continentais, sendo constituídas principalmente por andesitos na forma de tufos e fluxos de lavas, com termos mais basálticos na porção inferior da unidade. Sua estratigrafia é caracterizada por lenticularizações e rápidas mudanças litológicas, por esta razão é muito difícil de obter-se uma seção estratigráfica desta unidade (Hollister *et al*., 1978).

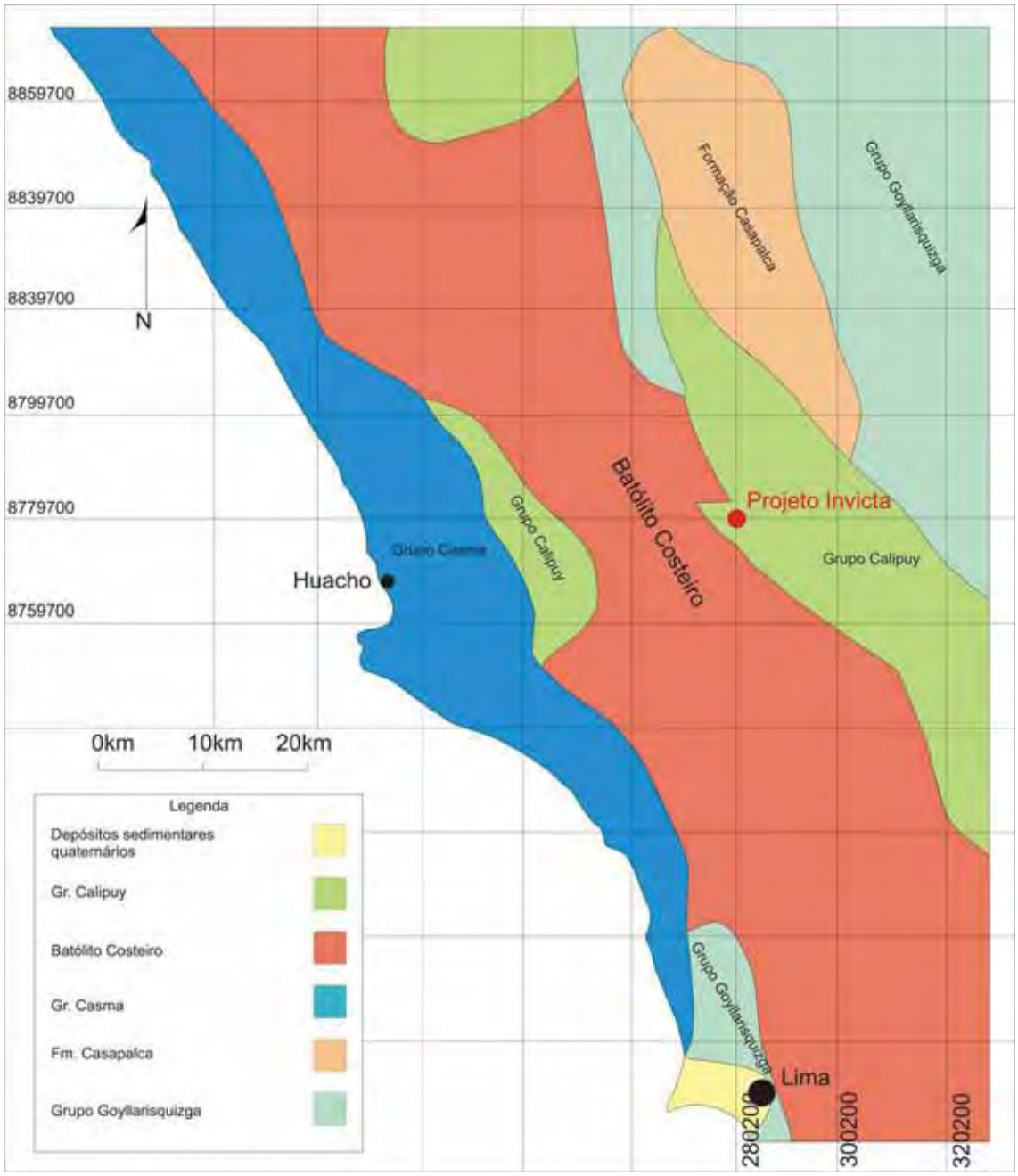

Figura 2. 1: Detalhe da geologia que circunda o Projeto Invicta (Modificado de JARAMILLO, 2006).

O Supergrupo Calipuy é dividido em dois grupos, sendo que do Grupo Choruro, que ocupa a base na estratigrafia, há poucos estudos, não sendo clara sua importância em termos de volume de rocha (Bissig, 2008). Em discordância sobre o Grupo Choruro, está depositado o Grupo Huaraz, datado do Oligoceno–Mioceno e constituído essencialmente de tufos de cinza e fluxos andesíticos com intrusões de *stocks* de dacito a granodiorito (Rainbow, 2005).

O Batólito Costeiro é a unidade ígnea que intrude as rochas calcárias do Grupo Goyllarisquizga e os depósitos vulcânicos do Grupo Casma, locados na Cordilheira Ocidental (Bissig, 2008). Este batólito ocorre na área do Projeto Invicta, é a principal unidade dessa natureza em todo o Peru, ocorrendo ao longo de toda a costa, e estendendo-se por cerca de 1600km (Haederle *et al*., 2002).

Este batólito é constituído por mais de 1000 pequenos plutons (Figura 2.2) (Haederle *et al*., 2002), sendo dividido em cinco segmentos, que de Norte para Sul são os segmentos de Piura, Trujillo, Lima, Arequipa e Toquepala (Figura 2.2) (Cobbing, 1982). A área em estudo se encontra inserida no segmento de Lima, que se estende de Lima a Chimbote, com um comprimento de 400km, sendo subdividido em 7 super-unidades, que foram intrudidas em um intervalo entre 100 e 60 M.a (Cobbing, 1973).

O complexo de plutons mais próximo ao Projeto Invicta é o complexo de Huaura, composto essencialmente de tonalitos, granodioritos e dioritos. A idade do Batólito Costeiro é Cretáceo Inferior a Superior (Cobbing, 1973 *apud* Jaramillo, 2006). Porém alguns dados de diques basálticos apontam uma idade mais precisa de 77,8 ± 1.3 M.a. (Bissing, 2008).

Estas fases de pulsos ígneos relacionados aos depósitos de calcários e vulcânicas são associadas aos cinturões metalogenéticos, sendo que o cinturão mineralizado em Cu e Au corresponde ao evento Cretáceo associado às vulcânicas de ambiente marinho, enquanto que as mineralizações de Pb, Zn, Ag, Cu e outros metais correspondem ao plutonismo do Terceário relacionado às vulcânicas continentais (Cobbing, 1982).

Quanto ao contexto tectônico, temos que a tectônica Andina gera lineamentos de direções principais N55º, N110º e N130º representada por falhas de caráter principalmente transcorrente e são as estruturas principais que ocorrem na região. Estes lineamentos estão associados a um forte fraturamento que gera falhas de cavalgamento, falhas direcionais e transformantes em toda a extensão próxima à costa do Peru (Fig. 2.3).

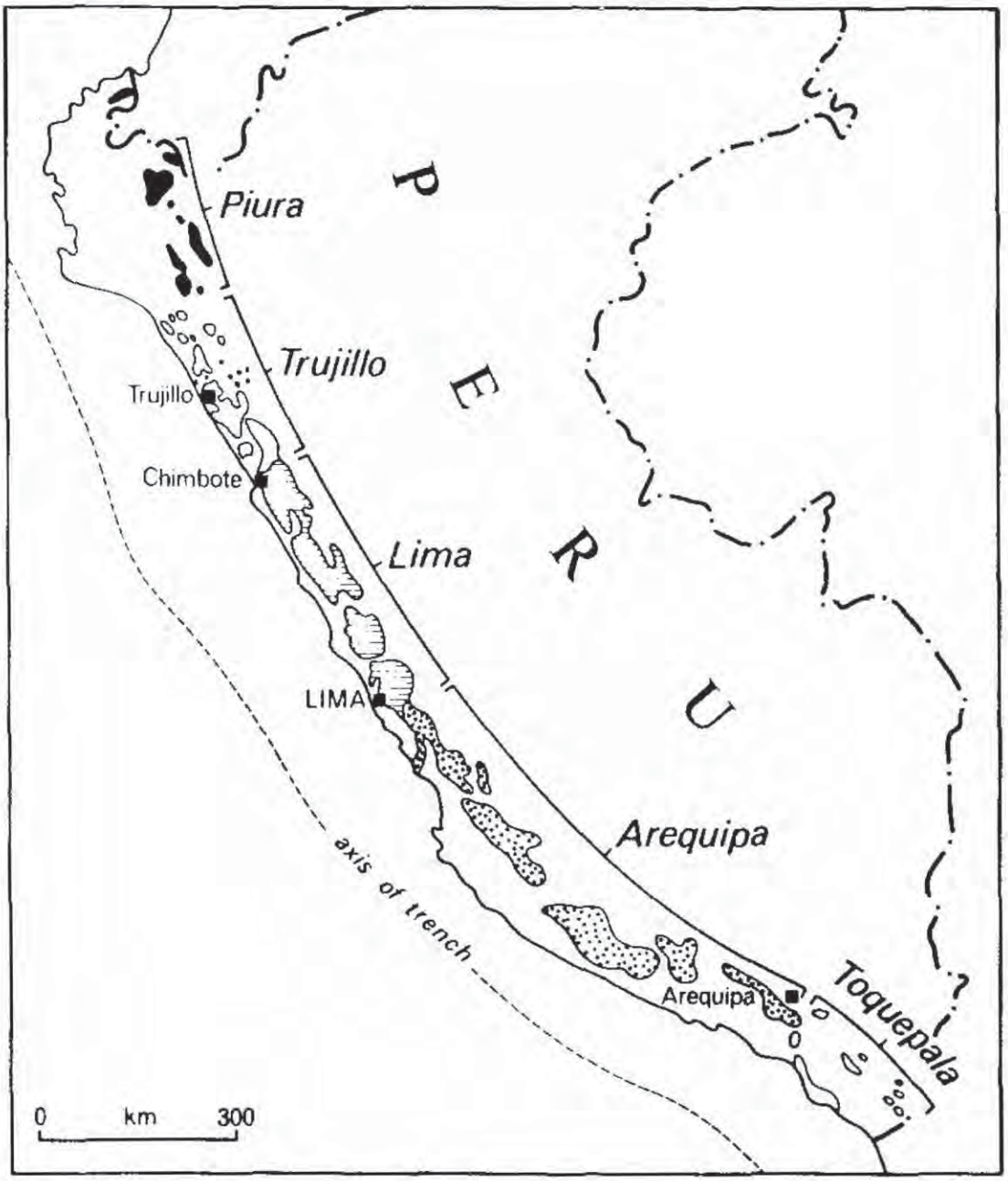

Figura 2. 2: Disposição das intrusões e segmentação do Batólito Costeiro na costa peruana. Os grandes segmentos estão individualizados com seus nome (retirado de COBBING, 1982).

Do ponto de vista tectônico, o Peru é dividido em quatro províncias (Wilson, 2000) denominadas Província Casma, Cinturão de Dobramento da Cordilheira Ocidental, Província Bloco Falhado e Província Pascamayo (Figura 2.4).

A Província Casma corresponde ao cinturão costeiro do Peru, abrangendo desde a parte mais ao sul do país até o paralelo 8ºS. É caracterizada por possuir

dobras abertas de direção NW e muitas falhas de mesma direção. É limitada a Norte pelo Sistema Transcorrente de Trujillo (Figura 2.4).

O Cinturão de Dobramento da Cordilheira Ocidental é caracterizado por estruturas lineares, dobras e cavalgamentos desenvolvidos em sedimentos de bacias juro-cretáceas encontradas no oeste peruano. São geralmente encontradas dobras monoclinais de 50 a 100km limitadas por falhas que apresentam alto caimento. Em escala menor ocorrem dobras assimétricas para NE nas porções E, e nas porções W com assimetria para NW.

A Província Bloco Falhado situa-se logo a W da Cordilheira Oriental (Figura 2.4), sendo caracterizado por grandes deslocamentos verticais devido a falhas inversas de alto ângulo. É considerado mais jovem que os movimentos geradores da Faixa de Dobramento da Cordilheira Ocidental, com idade sugerida entre 44 e 39 M.a. Este evento corresponde à Orogenia Incaica II, e afeta a parte basal do Supergrupo Calipuy.

A Província Tectônica de Pascamayo corresponde à uma estreita faixa ao longo da costa NW do Peru, com dobramentos de pequena escala porém com alta intensidade de deformação (Figura 2.4).

.

Figura 2. 3: Mapa tectônico do Peru (INGEMMET, 1999)

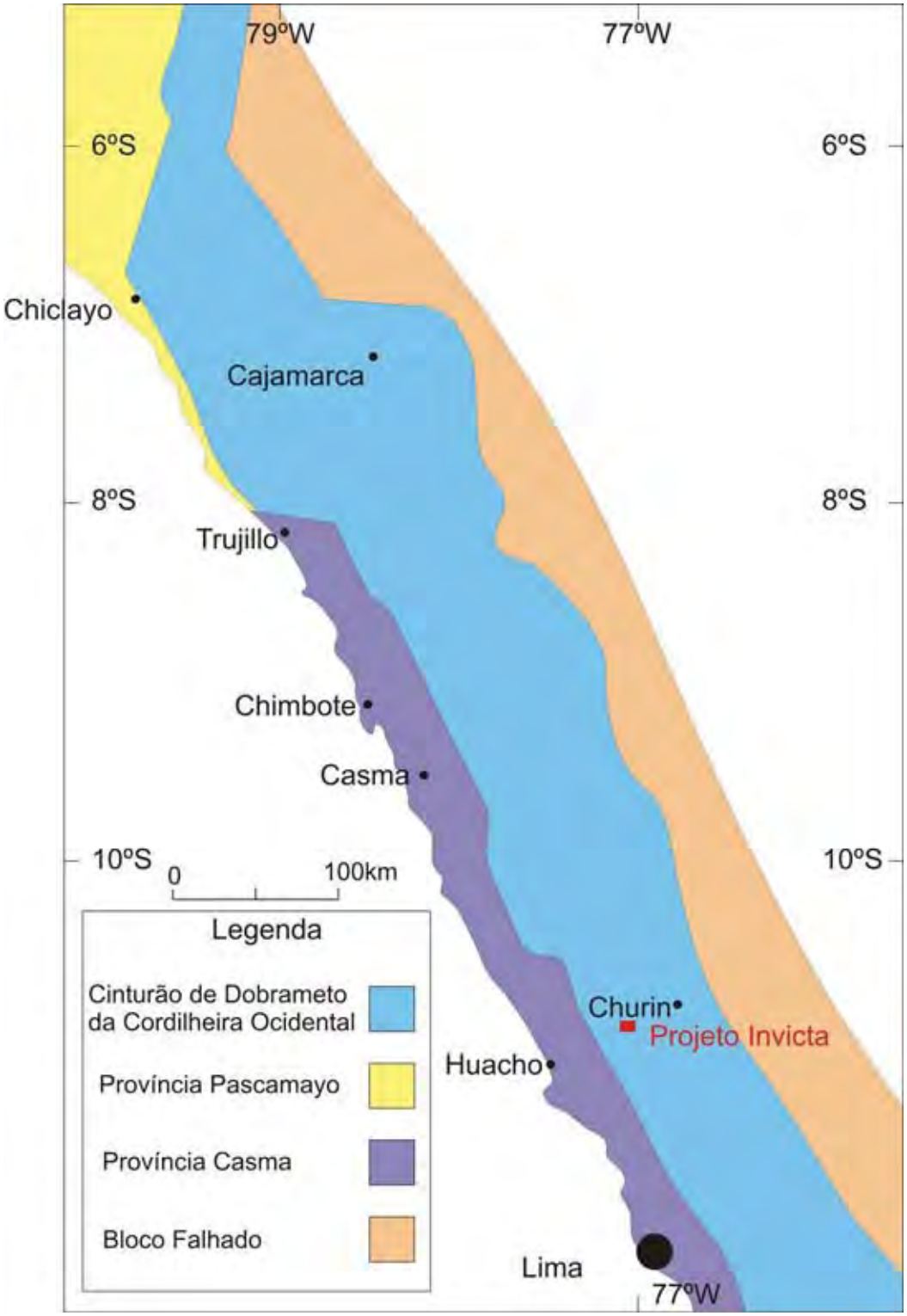

Figura 2. 4: Mapa das províncias tectônicas do norte do Peru (Modificado de WILSON, 2000).

3 - Geologia do Depósito Invicta.

Neste capítulo são descritas as unidades litoestratigráficas e as principais estruturas identificadas na área do projeto, que se situa em um alto topográfico com cotas variando entre 3500 e 3890 metros, distando cerca de 2,5km da cidade de Paran (Figura 3.1) com altitude aproximada de 1.800m.

Para tal estudo foi delimitada uma área que inclui as principais zonas mineralizadas, e as unidades litológicas circundantes, perfazendo 4,1km² (Figura 3.2).

O trabalho realizado permitiu a individualização de diversas unidades litoestratigráficas, o posicionamento das zonas mineralizadas e o levantamento das estruturas associadas.

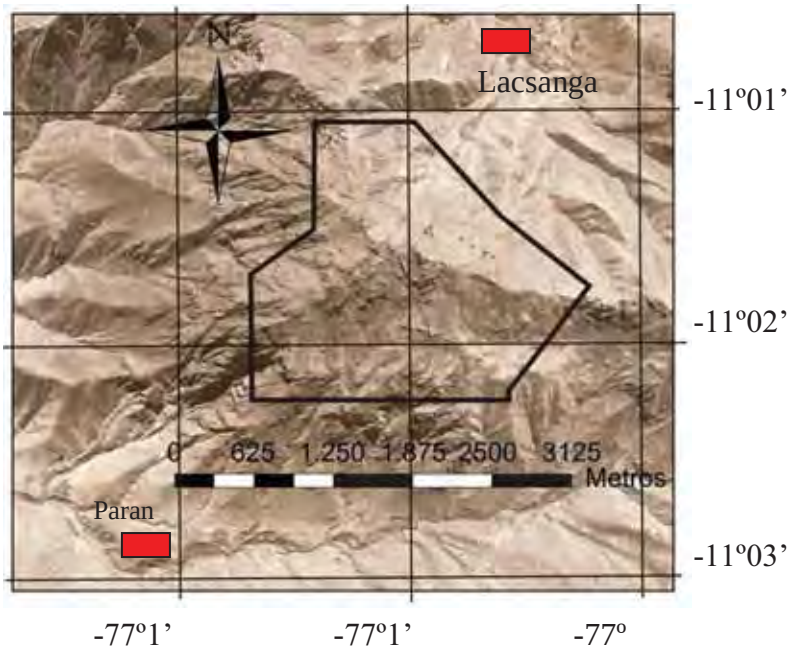

Figura 3. 1: Foto aérea mostrando localização da área do projeto e cidades próximas.

3.1 – Unidades Litoestratigráficas.

Na área do projeto, ocorrem essencialmente rochas extrusivas pertencentes ao Supergrupo Calipuy, e um diorito correlacionado ao Batólito Costeiro, que aflora na porção SW da área.

O levantamento geológico revelou que a área é cortada por diversas falhas, conduzindo a um complexo padrão estratigráfico, pois o arranjo originado é tal que não permite correlações diretas entre as unidades encontradas nos blocos adjacentes.

Na ausência de uma estratigrafia detalhada para o Supergrupo Calipuy, bem como de uma camada guia, as unidades encontradas serão descritas para os 5 compartimentos litotectônicos definidos pelas principais descontinuidades mapeadas.

Assim temos que o Domínio Atenea (DA), que aloja o principal veio mineralizado (Veio Atenea) e parte de rochas encaixantes, ocorre na porção central da área de estudo. Rodeando a porção central da área, existem os domínios Noroeste (DNW), Sul-Sudeste (DSSE) e Leste (DE), constituídos de rochas do Supergrupo Calipuy, e o Domínio Plutônico (DP) constituído por diorito associado ao Batólito Costeiro (Figura 3.2). Estes blocos são limitados por falhas importantes, tanto de direção NW, quanto NE.

Neste capítulo, primeiramente serão descritas as unidades litoestratigráficas de cada domínio e posteriormente será feita uma discussão das possibilidades de correlação entre os domínios.

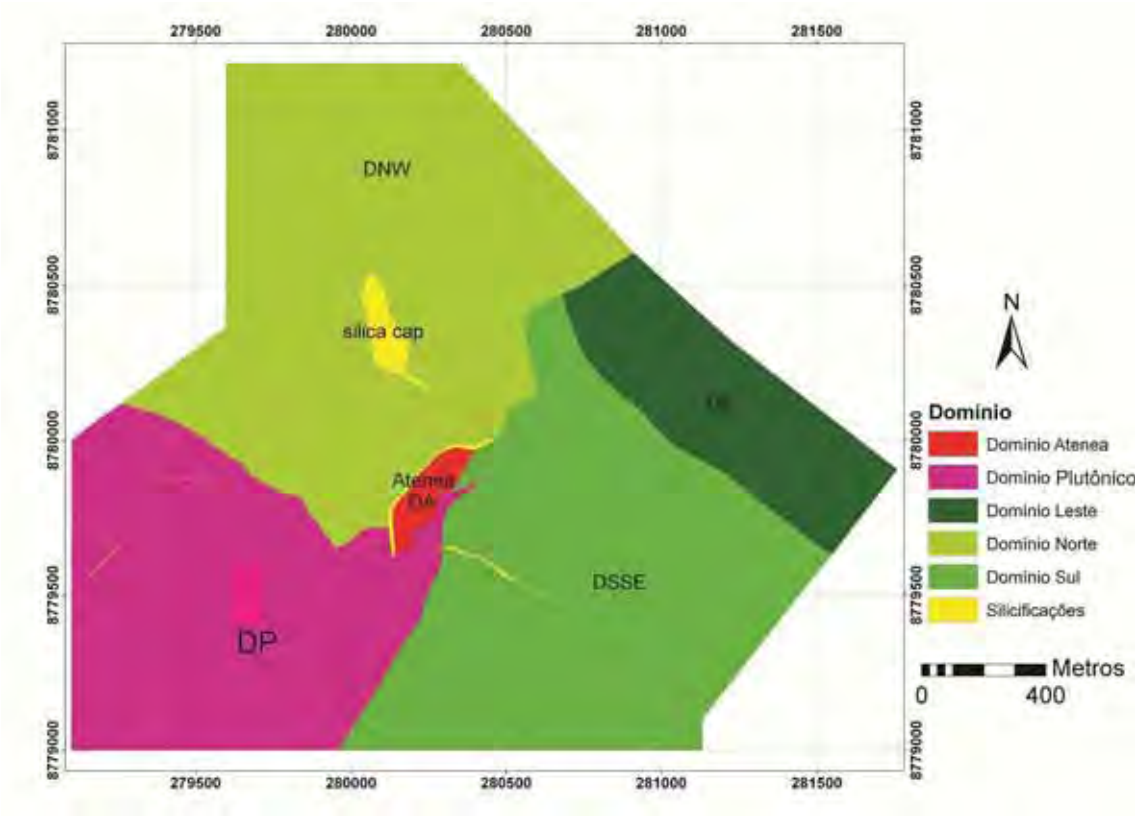

Figura 3. 2: Mapa ilustrando os Domínios estratigráficos.

3.2 – Domínio Sul-Sudeste (DSSE).

Este Domínio ocorre nas porções sul e sudeste da área (Fig. 3.2), estando em contato com o Domínio Plutônico (DP) por meio de uma falha bem marcada e facilmente reconhecida devido à alteração que gera, com ocorrência de uma zona mais epidotizada e silicificada, associada a um adensamento no fraturamento das rochas vulcânicas que mascara sua estratificação primária.

Também está em contato tectônico com o Domínio Leste (DE) (Figura 3.2), através da zona de falha que encaixa o Veio Pucamina, cujo veio possui cerca de 3 a 4 metros de espessura e 180 metros de comprimento.

Neste Domínio foram reconhecidas seis unidades descritas abaixo e representadas no mapa geológico (Anexo 1).

3.2.1 – Unidade DSSE1.

Esta unidade ocorre na porção basal do bloco Domínio Sul-Sudeste. Apresenta boas exposições rochosas, formando patamares suaves no topo da

unidade e quando escavada pela erosão forma grandes paredões ou encostas muito íngremes.

É composta por um andesito verde que, quando alterado, assume coloração roxa, com granulação fina, mostrando uma estratificação primária pouco proeminente cuja atitude média é N80ºW/10ºNE, marcada por descontinuidades sutis que possivelmente representam diversos derrames consecutivos. Apresenta fenocristais de plagioclásio com, no máximo, 3 milímetros de comprimento maior.

No contato com as rochas do Bloco Plutônico, este andesito apresenta-se com zonas silicificadas, epidotizadas e cloritizadas que contrasta com o padrão normal da rocha. Este contato é subvertical com direção aproximada em torno de N30ºE, cortando a estratificação do andesito. Exclui-se a hipótese de contato intrusivo, pois o contato entre as duas unidades, e mesmo entre os domínios, é retilíneo, as rochas adjacentes são tectônicamente fraturadas e não se observam apófises ou xenólitos.

O contato com a Unidade DSSE2 segue a estratigrafia normal dos estratos, pois sua orientação é paralela à estratificação interna das duas unidades (DSSE1 e DSSE2).

O contato da porção norte da unidade DSSE1 com a unidade DSSE3, também se dá por meio de uma falha vertical, marcada por uma zona silicificada, associada a um veio de quartzo que varia de espessura entre 2 a 4 metros.

3.2.2 – Unidade DSSE2.

Sobrepondo a unidade DSSE1 está a Unidade DSS2, que apresenta ótimos afloramentos em cortes de estradas e cortes para a implantação do alojamento. Esta rocha da origem a relevo suave em comparação às outras rochas, e está, muitas vezes, coberta por depósitos coluvionares.

É constituída por uma seqüência de brechas vulcânicas e tufos de coloração roxa, pouco coesa, com muitos fragmentos de outras rochas, que geralmente são arredondados a ovalados, desde milimétricos a até cerca de 40 cm de diâmetro. Estes fragmentos são de composição vulcânica, dominantemente andesitos e outros tufos.

Esta unidade possui variação na granulação, que marca a estratificação primária cuja atitude média é N25ºE/10ºSE. Esta variação é marcada por bandas com poucos fragmentos ou quase ausência dos mesmos, correspondendo a tufos de cinza (Figura 3.3); e bandas com maior freqüência de fragmentos, onde também são encontrados os fragmentos maiores de rocha correspondendo a brechas vulcânicas (Figura 3.4).

Figura 3. 3: Tufo de cinza da unidade DSSE2; é possível ver a estratificação primária marcada por bandas decimétricas.

Figura 3. 4: Tufo da Unidade DSSE2; é possível ver a mudança de granulação das camadas, onde a superior é muito fina (tufo de cinza) e a inferior possui fragmentos centimétricos envoltos por matriz de cinza.

O contato com o Domínio Plutônico (DP) é tectônico numa falha com atitude aproximada N30ºE, subvertical. Na porção norte está em contato com a unidade DSSE1, que se repete neste local devido a uma falha N55ºW/80ºSW que trunca os planos de estratificação primária que têm atitude N25ºE/10ºSE. Junto ao contato as rochas ficam fortemente fraturadas mascarando o bandamento primário.

A rocha é composta essencialmente por fragmentos arredondados a ovalados, compostos predominantemente por quartzo, opacos, feldspatos e alguns cristais de anfibólio aciculares, que estão envoltos em uma matriz quartzo-feldspática com cristais de epidotos (Figura 3.5), enquanto que os fragmentos são de feldspato, opacos e alguns poucos de quartzo e epidoto.

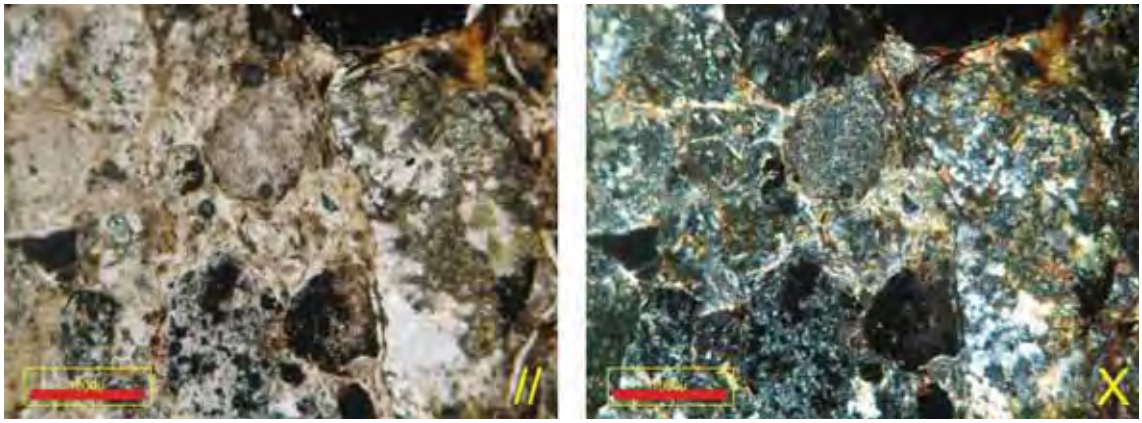

Figura 3. 5: Fotomicrografias mostrando o arranjo microscópico da unidade DSSE2, observa-se fragmentos arrendondados envoltos em matriz fina.

3.2.3 – Unidade DSSE3.

Esta unidade é muito parecida com a DSSE1, sendo também uma sequência de andesitos de coloração verde variando para roxo, com fenocristais de plagioclásio de 2 a 3 mm de comprimento maior, porém o que as diferencia é o seu predominante estratificação primária melhor marcado e mais constante, sendo esta unidade não tão maciça quanto o andesito verde da unidade DSSE1.

Os afloramentos desta unidade geralmente são lajedos ou blocos *in situ* que afloram em meio à cobertura constante que recobre a unidade, também existem afloramentos razoáveis nos cortes de estrada. Esta rocha associa-se a um relevo mais suavizado, porém nas proximidades com a unidade DSSE4 este relevo se torna mais íngreme.

Esta seqüência de andesitos possui estratificação primária marcada por descontinuidades que possivelmente refletem os vários derrames sucessivos. A atitude média é de aproximadamente N40Wº/30ºNE.

Possui matriz fina (vidro) que envolve fenocristais de plagioclásio com cerca de 2 a 3 mm de comprimento maior (Figura 3.6). Na matriz pode-se reconhecer pequenos cristais de plagioclásio além de muito opaco.

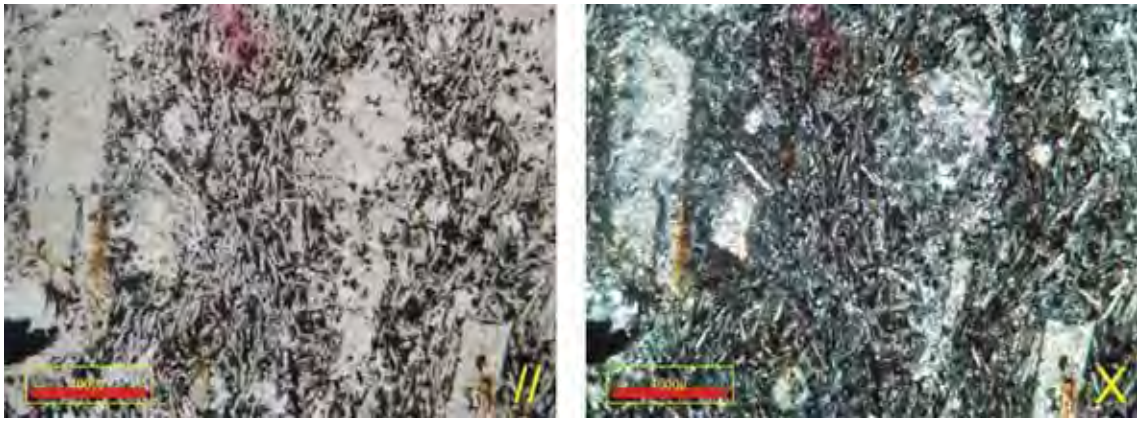

Figura 3. 6: Fotomicrografia do andesito da unidade DSSE3. Observa-se os pequenos fenocristais de plagioclásio da matriz em contraste com os fenocristais, também de plagioclásio, centimétricos envoltos por ela.

Esta unidade possui muitas zonas silicificadas e epidotizadas com até 3 metros de comprimento com poucas dezenas de centímetros de espessura, e veios milimétricos de carbonatos, que em alguns locais são muito frequentes, porém não ocorrem em todos os afloramentos. Estes veios de carbonato são mais uma das diferenças entre esta unidade e a unidade DSSE1.

A oeste a unidade DSSE3 está em contato tectônico com outras duas litologias, o diorito pertencente ao Domínio Plutônico, e brechas vulcânicas que pertencem ao Domínio Atenea.

A norte, esta unidade faz contato com duas outras unidades, a Unidade DSSE4 e a Unidade DSSE5. O contato com a unidade DSSE4 é interpretado como normal, já que é coerente com a atitude da estratificação observada na unidade DSSE3, enquanto que o contato entre a DSSE3 e a DSSE5 é tectônico, cuja direção é N70W/55NW, onde há silificicação de pouca expressão, perturbações na estratificação primária, e o aumento da freqüência de fraturas.

3.2.4 – Unidade DSSE4.

Esta unidade sustenta o topo de um morro e apresenta boas exposições rochosas, sendo a cobertura quase inexistente. É constituída por uma brecha vulcânica com predominância de fragmentos maiores que 6 cm, por vezes chegando a 30 cm de diâmetro (Figura 3.7). Estes fragmentos são de vários litotipos, tais como andesito roxo, andesito verde, brecha vulcânica e tufo lítico.

Não foi constatada estratificação nesta rocha, que está muito silicificada e, ao contrário da unidade DSSE2, não apresenta muitas fraturas.

A coloração desta rocha é vermelha, sendo que nas porções mais superiores do morro onde aflora, a coloração passa a ser rosada, em alguns locais coberta com uma alteração ferruginosa, o que lhe confere uma coloração com vermelho mais forte em alguns pontos. Nesta rocha também há ocorrência de muitos veios com precipitação de carbonato.

Figura 3. 7: Bloco de brecha da unidade DSSE4, brecha vulcânica com fragmentos maiores que 6cm (MP-402).

A configuração em mapa sugere a possibilidade desta unidade recobrir o contato entre as unidades DSSE3 e DSSE5, sugerindo discordância.

O contato entre esta unidade e a Unidade DSSE5 é uma falha com atitude média em torno de N70ºW/55ºNW, onde há planos estriados, mostrando um movimento predominantemente direcional sinistral. Próximo ao contato observam-se muitas fraturas paralelas ao contato com freqüente precipitação de carbonatos.

O contato desta unidade com a unidade DNW3 se dá por meio de uma falha, que aparentemente é a mesma que gera a falha controladora do veio Atenea, sugerindo uma superfície de falha curva.

3.2.5 – Unidade DSSE5.

Esta unidade é composta por uma seqüência de andesitos de coloração verde claro, com fenocristais de plagioclásio de comprimento maior médio em torno de 3 mm, emersos em matriz andesítica fina a muito fina, gerando assim uma textura porfirítica na rocha (Figura 3.8).

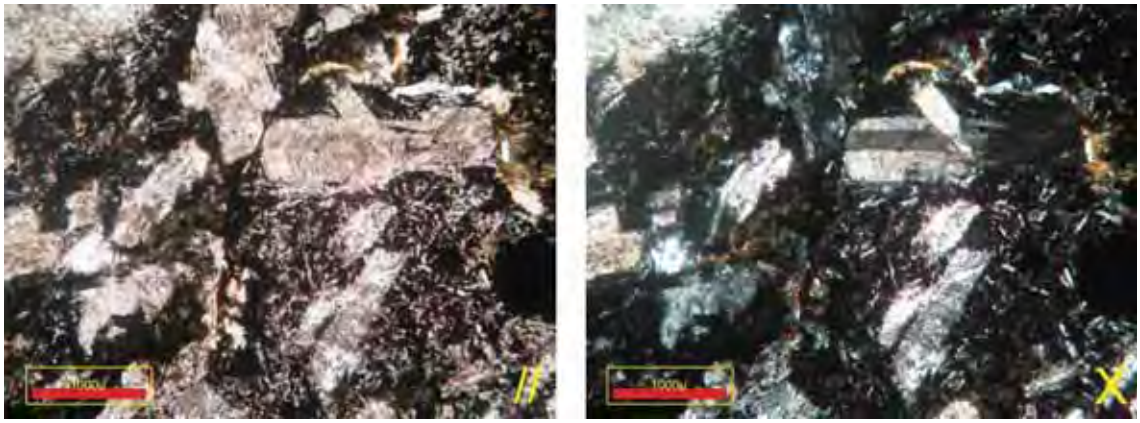

Figura 3. 8: Andesito da unidade DSSE5, mostrando os fenocristais de plagioclásio centimétricos envoltos em matriz fina com pequenos fenocristais de plagioclásio e concentrações de opacos.

Além da presença marcante dos fenocristais de plagioclásio, também ocorre uma quantidade muito grande de pequenos veios de quartzo com malaquita e/ou carbonato.

A presença de fraturas é mais freqüente nesta unidade, muito provavelmente por ser uma unidade maciça e resistente, com característica muito rúptil, e por estar muito perto de duas falhas, uma delas muito importante, que encaixa o Veio Pucamina.

Esta unidade encontra-se em geral encoberta por blocos rolados da unidade DSSE4, com isso os melhores afloramentos são cortes de estradas. Alguns afloramentos ao longo de encostas mais íngremes também podem ser observados.

O contato sul desta unidade se dá com a unidade DSSE4, cujas feições foram descritas anteriormente. A norte, a unidade DSSE5 faz contato por falha com duas outras unidades, a Unidade DE1 e a Unidade DE2 e paralelamente a

este contato ocorre um veio mineralizado de 2 a 5 metros de espessura e 180 metros de comprimento, que será descrito posteriormente (Veio Pucamina).

Este veio mineralizado não ocorre em todo o contato, sendo restrito à porção mais central da unidade DSSE4, enquanto que seguindo a falha para norte o veio é estrangulado, permanecendo apenas os planos de falha, perturbações na estratificação primária das litologias encaixantes e muitos veios finos de quartzo.

Para sul, o veio também afina e desaparece, porém o fraturamento na rocha e os planos de falha permanecem visíveis, com presença de muitos veios de carbonato e epidotização que ajudam a traçar a continuação da estrutura.

3.3 – Domínio Leste (DE).

Este Domínio ocorre na porção Leste da área (Fig. 3.2), estando em contato com o Domínio Sul-Sudeste por meio de uma falha importante, já que é um contato que aloja um dos principais veios mineralizados.

Também está em contato com o Domínio Noroeste, por meio de uma falha interpretada como relacionada ao alojamento do veio Atenea.

3.3.1 – Unidade DE1.

Esta unidade é representada por uma seqüência de andesitos maciços, de coloração verde claro a escuro (Figura 3.9) chegando por vezes a ser cinzento, com muitos fenocristais de plagioclásio e máficos (piroxênio), com comprimento maior médio de 4 mm (Figura 3.10).

Possui boas exposições, com afloramentos em forma de lajedos ou em forma de morrotes e também nas poucas drenagens existentes e em cortes de estrada. O relevo gerado é bem suave.

Figura 3. 9: Andesito porfirítico da unidade DE1, a coloração verde clara é devido a alteração, porém a coloração verde escura é observada nas amostras sãs pois a quantidade de piroxênios é alta.

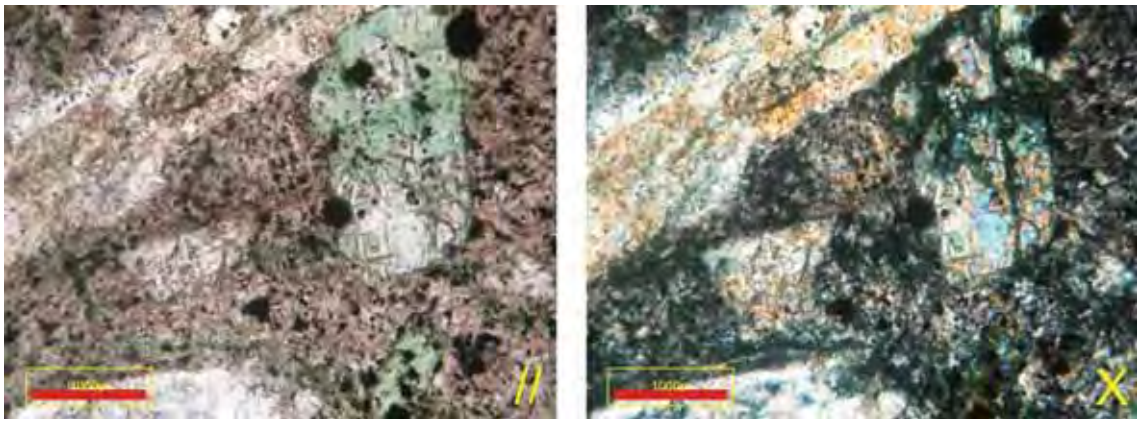

Figura 3. 10: Fotomicrografia do andesito porfirítico com fenocristais centimétricos de plagioclásio e piroxênios envoltos em matriz com opacos.

A presença de veios de carbonato com orientações diversas é constante ao longo de toda a unidade. Este andesito porfirítico apresenta estratificação primária marcada por planos de derrames sucessivos, com atitude preferencial em torno de N80ºW/55ºNE, N60ºW/40ºNE.

Nas proximidades do contato com a DSSE5 a presença de veios de carbonato é mais freqüente, além da presença de epidotização, porém não há evidências de silicificação, o que sugere que esta rocha poderia ser desfavorável a propagação do Veio Pucamina para sul, conforme discutido adiante (Seção 3.7.1).

Esta unidade está em contato com a Unidade DE2. Este contato está encoberto por sedimentos quaternários, sendo inferido no mapa já que não foi possível vê-lo. Como se observam afloramentos de duas unidades, tanto da DE1 (MP-559) quanto da DE2 (MP-558), na mesma cota, sugere-se que este contato seja tectônico.

3.3.2 – Unidade DE2.

Assim como a unidade DE1, a unidade DE2 apresenta relevo suave, com boas exposições de rocha, que estão pouco intemperizadas.

Esta unidade é constituída por uma seqüência de brechas vulcânicas polimíticas com coloração verde claro a roxo (Figuras 3.11), que quando alterada passa a ter uma coloração mais arroxeada.

Esta rocha possui fragmentos tanto de andesito roxo quanto de andesito verde e mesmo de outras rochas (tufos e granitos também); estes fragmentos geralmente possuem cerca de 6 a 30 cm, alguns podem chegar a medir 1 metro, porém são muito raros.

Apresenta estratificação primária nas porções mais superiores, próximo ao Veio Pucamina, marcado pela intercalação de camadas mais grossas e camadas mais finas, variando de lapili tufos a brechas vulcânicas, a estratificação primária apresenta atitude média em torno de N83ºW/35ºNE. As camadas possuem espessura de variando de 10 a 20 centímetros.

O contato com as rochas a SE (DE1), foi discutido no item anterior, enquanto que o contato a NW é uma falha que coloca a unidade DE2 em contato com a unidade DSSE5, também já discutido em itens anteriores.

Figura 3. 11: Afloramento da brecha polimítica da unidade DE2, observa-se uma clara estratificação primária formada por camadas mais espessas, onde há clastos maiores de rochas, e camadas mais finas onde existem poucos fragmentos de rochas, sendo constituída principalmente por cinza

3.4 – Domínio Noroeste (DNW).

Ocorre na porção Noroeste da área (Fig. 3.2), é o Domínio com maior expressão em superfície, sendo também o domínio que possui o maior número de unidades.

Faz limites com outros quatro domínios, conforme já apresentado, por meio de falhas. Apenas ao longo dos contatos com os Domínios Atenea (DA) e Plutônico (DP) se tem alguma mineralização expressiva.

3.4.1 – Unidade DNW1.

Esta unidade é a de maior expressão no Domínio, com afloramentos pouco alterados, geralmente mostrando boa exposição. São afloramentos muito heterogêneos, incluindo lajedos, ravinas e blocos preservados, porém *in situ*.

A unidade DNW1 é composta por um andesito de coloração variada, desde roxa, marrom à verde. Esta variação se deve muito ao fato de ser um andesito com muita perturbação tectônica e hidrotermalismo associado à estas perturbações, causando alterações em sua cor primária.

Possui textura afanítica, com presença de fenoscristais de plagioclásio com diâmetros variando de 3 a 4 mm e máficos (piroxênio) com cerca de 2 mm (Figuras 3.12 e 3.13). A estratificação primária das rochas desta unidade possui atitude variada, sendo marcado pela presença de descontinuidades entre pulsos

de derrames, porém a atitude preferencial da estratificação primária é para Norte com mergulhos variando desde 80º a 20º.

Figura 3. 12: Afloramento de andesito da unidade DNW1

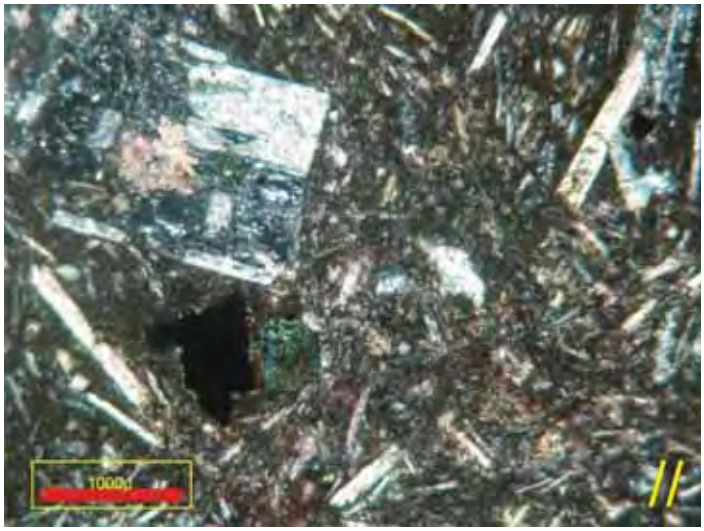

Figura 3. 13: Fotomicrografia do andesito da unidade DNW1, mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênios envolto em matriz fina

As rochas desta unidade apresentam-se muito fraturadas, principalmente na direção da continuação da zona de falha que aloja o veio Pucamina (Figura 3.2). Ocorrem veios e vênulas tanto de quartzo quanto de carbonato, geralmente acompanhados de epidotização.

Na porção mais oeste desta unidade a maior parte dos veios encontrados são de carbonato, alguns com malaquita (Figura 3.14) com espessura de 10 a 20 cm. Além disso são encontrados veios de quartzo com espessuras com cerca de 5 cm e presença de sulfetos, principalmente galena, cujos cristais possuem diâmetro médio de 0,4cm, contendo também malaquita.

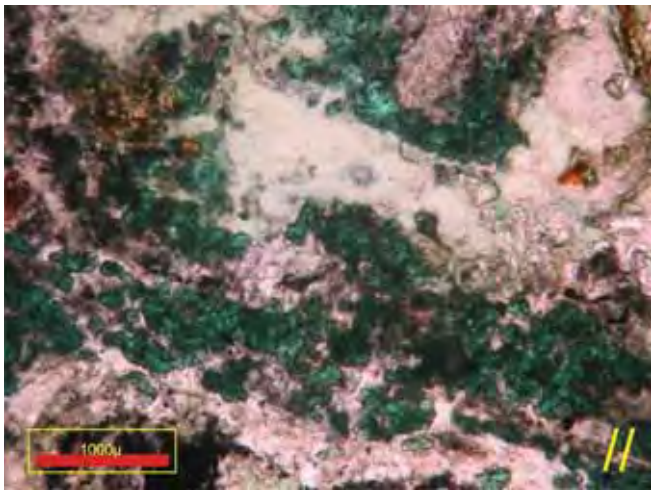

Figura 3. 14: Fotomicrografia de um veio de malaquita dentro da unidade DNW1

Nesta unidade, nas proximidades com a unidade DNW6, e entre os diques de andesito porfiríticos (unidade DNW7) (pontos 178, 179, 180, 181 e 620), ocorre um veio de quartzo sub-mineralizado a mineralizado. Sua espessura varia muito (desde poucos centímetros a 2 metros), com comprimento em torno de 135 metros e direção aproximadamente E-W. Nas proximidades deste veio, o andesito está silicificado e também apresenta uma quantidade incomum de cristais de pirita, indicando que os fluidos que produziram a silicificação eram ricos em sulfetos.

3.4.2 – Unidade DNW2.

A unidade DNW2 sobrepõem-se à unidade DNW1 em contato normal, sendo seus afloramentos geralmente muito alterados, as melhores exposições ocorrem em cortes de estrada.

É constituída por uma seqüência de tufo com fragmentos com até 6 cm de diâmetro tanto de andesito verde como de andesito roxo (Figura 3.15).

Figura 3. 15: Afloramento de brecha da unidade DNW2, onde é possível ver os fragmentos com tamanho entre 2 a 4 centímetros com coloração roxo escuro enquanto a matriz é roxo mais claro

Possui também uma estratificação primária marcada pela intercalação de bandas com fragmentos maiores, e bandas com fragmentos menores e estas bandas têm cerca de 20 a 30 cm de espessura cada uma. A atitude média do bandamento é N10ºE/45ºSE.

Esta unidade é muito friável, assim como a Unidade DSSE2, mostrando coloração roxa, porém em alguns pontos é verde clara, o que se interpreta como a cor original, sendo a coloração roxa produto de alteração.

Esta rocha é cortada por um dique de composição riolítica, sendo o contato entre estas rochas muito evidente, geralmente percebe-se perturbação na estratificação primária da encaixante, que em alguns casos, gera dobras centimétricas locais.

A exemplo do contato desta unidade com a unidade estratigraficamente inferior (DNW1), o contato com a unidade estratigraficamente superior (DNW3) também é normal.

3.4.3 – Unidade DNW3.

Esta unidade possui boas exposições de rochas, sendo observada em lajedos ou em alguns blocos *in situ* que resistem ao intemperismo.

A unidade DNW3 é constituída por um andesito de coloração geralmente verde claro a escuro, com matriz afanítica e com pequenos fenocristais de plagioclásio (até 1mm). Outra característica dessa rocha é a presença de amígdalas preenchidas por clorita e calcita.

Apresenta-se silicificada nas proximidades do contato com a unidade DSS4, o que reforça a hipótese de que a família de fraturas que alojou o Veio Atenea tem continuidade junto a esse contato. Sendo assim este contato é interpretado como tectônico, ao contrário do contato que esta unidade faz com a unidade DNW2, que é um contato normal.

3.4.4 – Unidade DNW4.

Esta unidade ocorre na porção sudoeste deste domínio. Apresenta extensos afloramentos, alguns em forma de paredões devido a presença de falhas, em sua maioria são pouco intemperizados gerando um relevo acidentado com encostas íngremes que chegam a mais de 125 metros.

É composta por uma seqüência andesítica com coloração predominantemente verde clara a verde escura, com algumas variações para verde amarelado, ocorrendo também afloramentos com coloração roxa.

Este andesito possui feições de brechação tectônica localizadas, geralmente associadas com silicificações, com alguns fragmentos de rocha de até 2 cm de diâmetro. Sua matriz é afanítica, apresentando muitos fenocristais de plagioclásio com até 5 mm de comprimento. Esta rocha também possui muitos fenocristais de máficos (piroxênio), com cerca de 2 a 4 mm.

A presença de amígdalas preenchidas por clorita, carbonato e epidoto também é marcante, com diâmetros de até 2 cm. Esta seqüência possui muita variação quanto à quantidade de amígdalas (Figura 3.16) e fenocristais (Figura 3.17), possivelmente são seqüências de derrames em que na base dos mesmos ocorre maior quantidade de fenocristais de máfico e plagioclásio e em direção ao topo dos derrames se tem um aumento na quantidade de amígdalas e diminuição na quantidade de fenocristais.

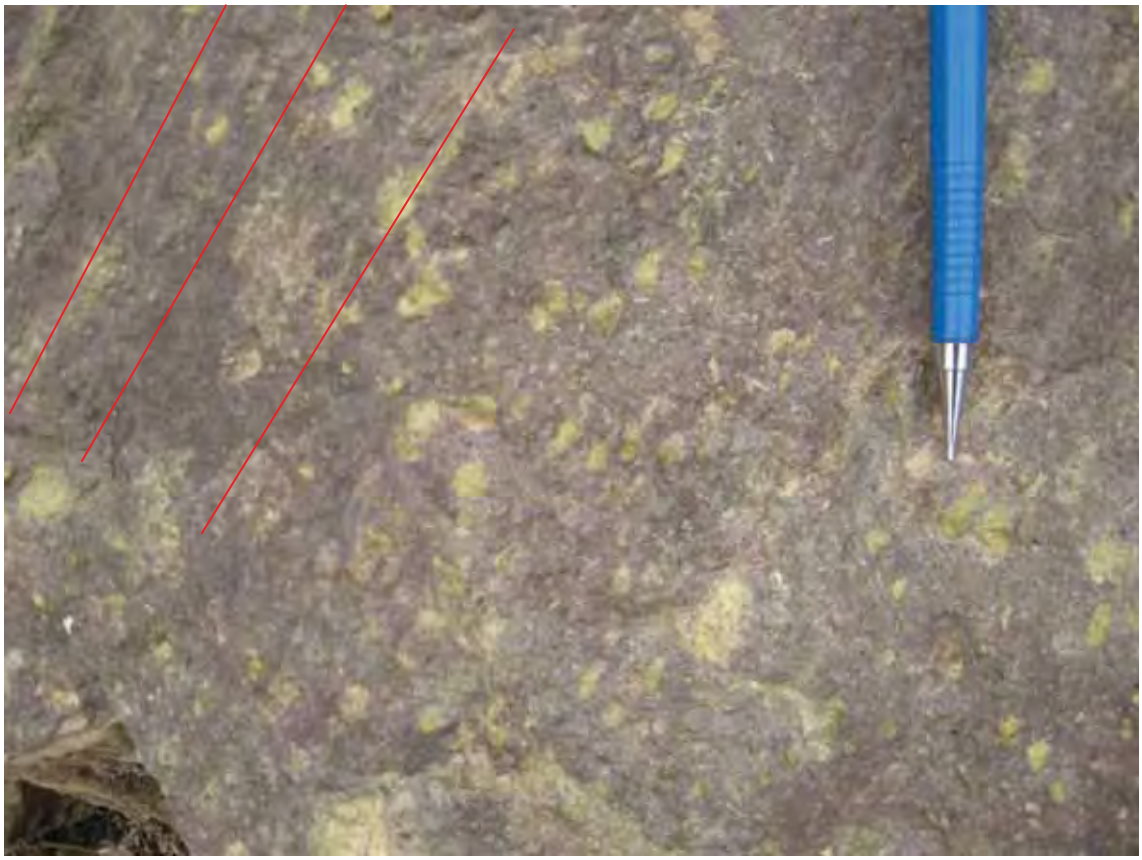

Figura 3. 16: Afloramento de andesito com amígdalas preenchidas por clorita e epidoto da unidade DNW4, é possível observar textura fluidal (linhas em vermelho) marcada por amígdalas com feição ovalada.

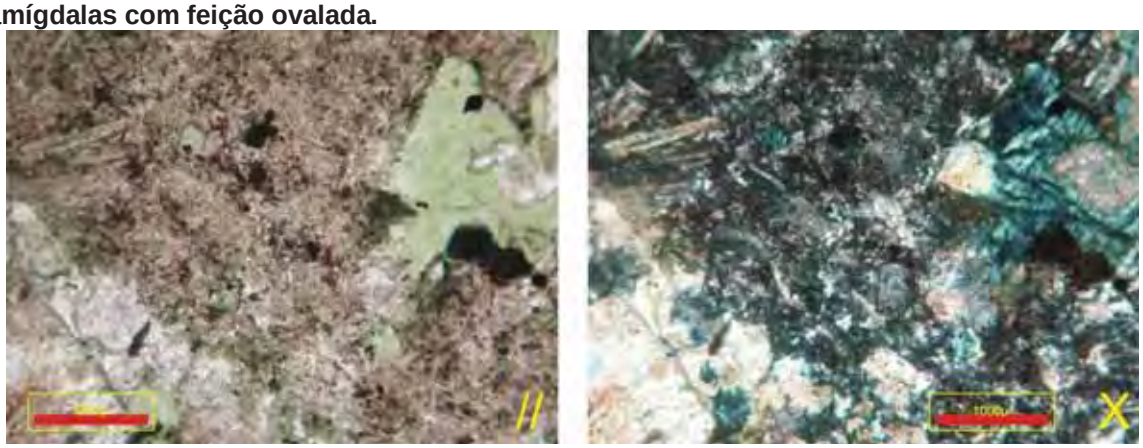

Figura 3. 17: Fotomicrografia do andesito da unidade DNW4 mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênios envoltos em matriz fina.

Alguns fenocristais de plagioclásio têm sua zonação evidenciada pela saussuritização exibindo alta freqüência de cristais de epidoto no centro dos fenocristais. A presença de veios de quartzo acompanhados de epidotização é comum e constante nas proximidades da área amarela que é conhecida como *sílica cap* pelos geólogos da INVICTA MINING CO., porém estes veios e vênulas

apresentam-se com distribuição caótica. Nestes veios é comum a presença de bornita, pirita, poucos cristais de galena e malaquita.

Os contatos desta sequência são, em sua grande maioria, tectônicos, sendo que o contato com a unidade DNW1 é por meio de uma falha que gera uma zona de silicificação, com cerca de 50 cm de espessura, inexpressiva para mineralização.

Faz contato a SE com o Domínio Atenea, por meio da zona de falha controladora do principal veio mineralizado da área. Também faz limites a sul com o Domínio Plutônico por meio de outra falha que deve ser muito importante no contexto local e mesmo regional, já que coloca dois domínios tão distintos em contato e associa-se a uma zona mineralizada em ouro denominada Veio Danni, com atitude N56ºW/71ºSW.

3.4.5 – Unidade DNW5.

Esta unidade possui afloramentos restritos, geralmente silicificados formando lajedos ou mesmo pequenas escarpas.

É composta por um andesito de coloração roxa, com fenocristais variando de tamanho, desde 1 cm a 3 cm, com estratificação primária (Figura 3.18). As camadas são marcadas por andesitos mais maciços e andesitos mais estratificados, geralmente em torno de 15 a 30 cm.

Figura 3. 18: Afloramento de andesito da unidade DNW5, mostrando a estratificação primária.

Veios de carbonato e quartzo com espessuras variando de poucos centímetros a até 20 centímetros são comuns nesta unidade, que pode ser devido à proximidade com uma região silicificada que gera um revelo mais elevado no centro desta unidade.

Os limites apresentados no mapa para esta unidade são inferidos por estar encobertos por depósitos coluvionares. Por isso as relações de contato ainda são discutíveis. Entretanto, o padrão de distribuição desta unidade em mapa, ocupando um alto topográfico e a atitude dos planos de estratificação apresentados por esta unidade (em torno de N10ºE/ 30º ou 40º NW) sugerem que a unidade DNW5 sobrepõem as rochas da unidade DNW4 em um contato normal.

3.4.6 – Unidade DNW6.

Esta unidade é composta por uma brecha vulcânica de coloração verde clara que varia para quase branco. São encontrados fragmentos grandes, com cerca de 40 – 50 cm, porém os mais comuns são os fragmentos por volta dos 10 cm ou menores. Estes fragmentos são de andesito verde e roxo, mas também foram encontrados alguns fragmentos de uma rocha granítica de coloração branca, com biotita (Figura 3.19).

Esta rocha possui estratificação primária com atitude média N80ºW/30ºNE (Figura 3.20), que devido à presença de falhas varia localmente. Esta

estratificação é dada por planos irregulares que marcam o contato entre brechas com maior quantidade de fragmentos, e de tamanhos menores, com cerca de 1 a 2 metros de espessura, e camadas com maior quantidade de matriz e fragmentos maiores, com cerca de 40 cm, estas últimas camadas chegam a ter 4 metros de espessura.

A forma dos fragmentos é poligonal cujas arestas são arredondadas, e algumas vezes aparentam marcar um fluxo onde os comprimentos maiores estão paralelos à estratificação primária.

Figura 3. 19: Afloramento de brecha de coloração verde clara com fragmentos de rochas com até 40 a 50 cm.

Figura 3. 20: Afloramento de brecha vulcânica com estratificação primária (traços inclinados para a direita) que pode ser visível a distância, porém pouco visível em afloramento.

Aparentemente, esta rocha foi um pulso de brecha vulcânica posterior à deposição da unidade DNW1, sobrepondo-a em um contato discordante, porém o contato entre ambas segue apenas parcialmente a topografia, o que sugere uma perturbação por falha, principalmente na porção leste e sul deste contato, ou então o contato já não era horizontalizado durante sua deposição.

3.4.7 – Unidade DNW7.

Esta unidade é localizada na porção central da área e faz contato com o Veio Atenea. Ocorre em grandes exposições de rocha, geralmente muito silicificada, o que gera escarpas e morros altos, com muito depósito de tálus.

A unidade DNW7, assim como a DNW6 também é considerada um pulso de brecha vulcânica posterior às unidades DNW1 e DNW4.

Possui coloração vermelha, com muitos fragmentos, porém não tão grandes como ocorre na DNW6, os clastos são essencialmente menores que 10 cm.

Apresenta estratificação primária cuja atitude preferencial é N86ºW/20ºNE. Está muito fraturada e silicificada, muito provavelmente pela proximidade com o Veio Atenea.

3.4.8 – Diques.

Dentro do Domínio Noroeste ocorrem diques de três litotipos que cortam as seqüências vulcânicas e brechas andesíticas representando três eventos magmáticos distintos.

É importante frisar que estes diques ocorrem apenas na porção NW e W do Veio Atenea, o veio mais importante encontrado na área.

Como não há evidências das idades relativas entre os três eventos, já que não se cortam, serão descritos em função de suas posições geográficas de norte para sul.

3.4.8.1 – Diques de Andesito Porfirítico (DNW8).

Os afloramentos desta unidade são muito pouco alterados e com boas exposições de rocha, formando uma faixa de rocha mais resistente que pode ser seguida facilmente em campo (Figura 3.21). Em alguns locais de contato com a encaixante forma paredões de até 15 metros.

São diques de andesito porfirítico de coloração verde a verde escura. Apresentam-se sempre com muitos fenocristais de plagioclásio com cerca de 0,5 cm (Figura 3.22 e 3.23). Os diques em geral possuem espessura média de 3 a 5 metros.

A direção destes diques é aproximadamente N70ºE/80ºNW (Anexo 1). É possível que os três segmentos desenhados no mapa sejam um único dique, interpretando-se que há falhas deslocando o dique no sentido norte - sul.

No ponto MP-97, junto à parede de um dique, ocorre um enriquecimento em sílica, interpretada como um possível resquício do Veio Juan. Porém a oeste deste ponto não se observa nenhum enriquecimento em sílica, podendo ser interpretado que o dique é uma barreira à mineralização e ao enriquecimento em sílica, já que para oeste do dique não ocorre nenhum indicio de mineralização de ouro.

O contato desta unidade com suas encaixantes é bem marcado e facilmente reconhecido seguindo a direção principal N70ºE/80ºNW.

Figura 3. 21: Afloramento do dique de andesito porfirítico da unidade DNW8 (afloramento MP-102), as linhas vermelhas limitam o dique e sinalizam sua inclinação

Figura 3. 22: Amostras de mão do andesito porfirítico do dique da unidade DNW9, observa-se os grandes fenocristais de plagioclásio (afloramento MP-98).

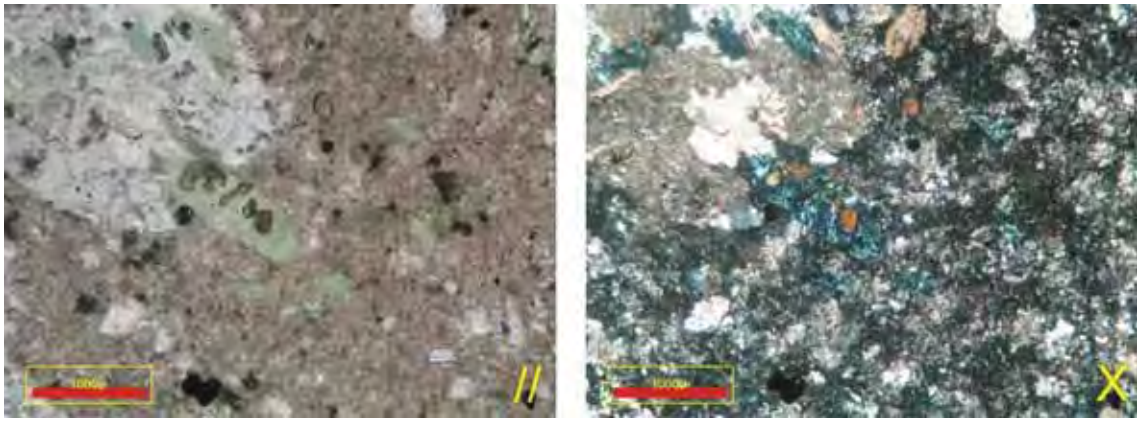

Figura 3. 23: Fotomicrografias mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênio envoltos em matriz fina, ocorrem alguns opacos.

3.4.8.2 – Dique de Diorito (DNW9).

Assim como a unidade DNW8, esta também é uma unidade composta por diques que cortam os andesitos e brechas do Domínio Noroeste, porém são compostos por diorito.

Seus afloramentos também marcam lineamentos bem definidos, são pouco alterados e com boa exposição, formam paredes de rocha (Figura 3.24) que podem chegar a ter 20 metros de altura, porém geralmente possuem menos de 5 metros.

Estes diques de diorito possuem coloração verde a verde ocre, apresentando muitos fenocristais de plagioclásio com cerca de 0,4 cm e fenocristais de máficos (piroxênio) com 0,2 a 0,3 cm (Figura 3.25). Sua espessura varia de 2 a 5 metros.

O contato entre o dique de diorito e suas encaixantes é facilmente reconhecível, sendo brusco. Sua atitude geral é N50-40ºE/80ºSE.

Aparentemente são dois diques, um mais a NW e outro mais a SE, sendo que o dique NW é cortado por falhas e parcialmente encoberto por colúvio.

Figura 3. 24: Afloramento do dique de diorito é possível marcar facilmente o contato dele com a encaixante na maior parte de sua parte aflorante.

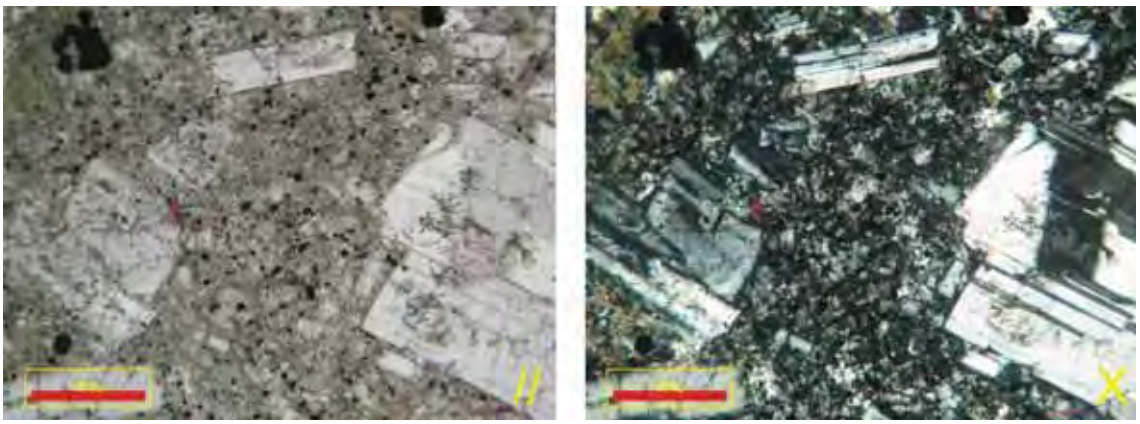

Figura 3. 25: Fotomicrografia mostrando os fenocristais de plagioclásio e piroxênio envoltos em matriz média a fina. Nota-se também a presença de opacos

3.4.8.3 – Dique de Riolito (DNW10).

Esta unidade possui boa exposição rochosa, também formando altos que marcam um lineamento que corta toda a área na direção geral NE. Seus afloramentos geralmente também formam alguns paredões, porém com menores dimensões que os demais descritos, geralmente chegando a ter no máximo 4 metros.

É composta por um dique de riolito (Figura 3.26) que corta várias unidades do Domínio Noroeste e também do Domínio Plutônico. Apresenta contato brusco e bem definido, sendo que na unidade DNW2 foram observadas perturbações da estratificação primária da encaixante na região de contato com o dique.

Sua coloração é branca, sendo que no contato com a unidade DNW2 apresenta muitos cristais de pirita, que são mais frequentes no contato enquanto que mais para o centro do dique tornam-se mais raros.

O contato segue atitude aproximada N40ºE/80ºSE (Figura 3.27), variando no seu segmento a sudoeste para N20ºE/80ºSE, onde também se perde devido a depósitos quaternários que não permitem sua visualização. Sua continuação é observada mais a sul, cortando o diorito do DP.

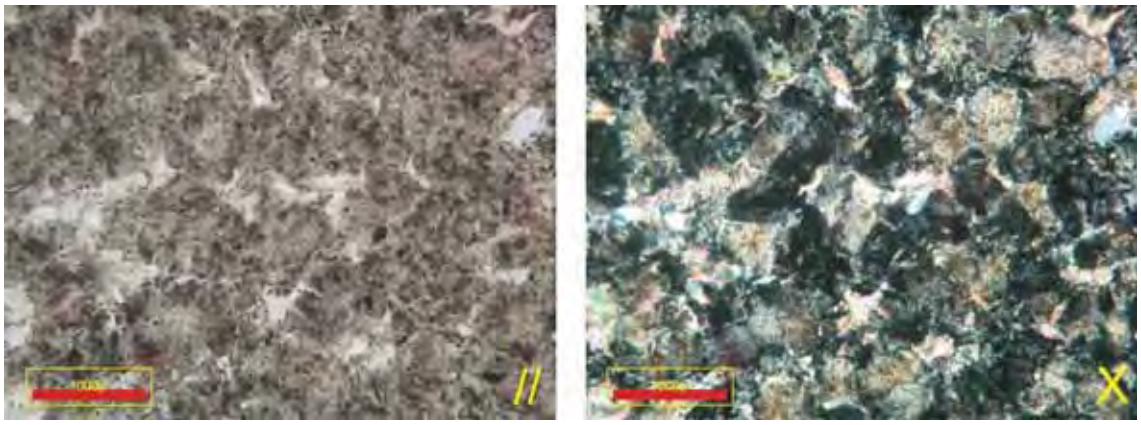

Figura 3. 26: Fotomicrografia do riolito da unidade DNW10, mostrando uma rocha fina a muito fina.

Figura 3. 27: Afloramento mostrando o contato do riolito da unidade DNW10 (lado direito do traço vermelho) e a brecha da unidade DNW2 (lado esquerdo do traço vermelho). Geralmente nas paredes do contato são encontrados cristais de pirita (afloramento MP-87)

3.5 – Domínio Atenea (DA).

Este Domínio ocorre na porção central da área (Fig. 3.2), em termos econômicos é o domínio mais importante já que aloja o principal veio mineralizado. Está limitado pelos Domínios Plutônico, Noroeste e Sul-Sudeste.

Seus limites são marcados por falhas com alto ângulo de mergulho, sendo que as direções principais são NE.

Este domínio possui três unidades diferentes que serão descritas a seguir.

3.5.1 – Unidade DA1.

Os afloramentos desta unidade estão pouco alterados, e geralmente cobertos por blocos rolados das unidades superiores.

Esta unidade é definida por um andesito de coloração roxa com matriz de textura afanítica e presença de alguns fenocristais pequenos (menores que 0,3 cm) de plagioclásio (Figura 3.28).

Esta unidade ocorre muito silicificada, possivelmente pela proximidade com o veio de quartzo que é denominado Atenea. Também ocorrem muitos veios de quartzo e algumas drusas, porém estes veios são geralmente estéreis e não possuem muita expressão.

Faz contato tectônico a oeste com uma brecha tectônica que é denominada neste trabalho como DA3. Já o contato sul e leste são com o diorito do Domínio Plutônico; este contato possui uma geometria muito complexa e aparenta ser por meio de falhas.

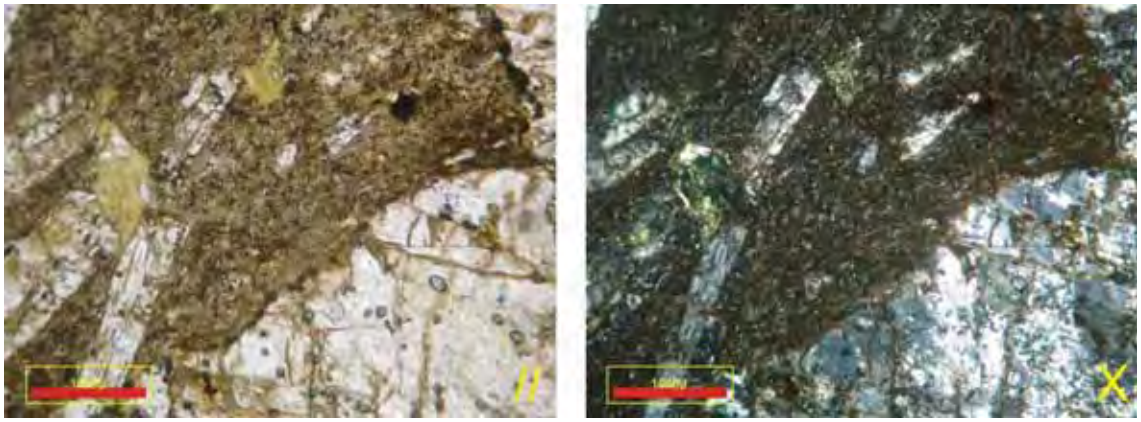

Figura 3. 28: Fotomicrografia do andesito da unidade DA1 mostrando os fenocristais de plagioclásio e máficos já bem alterados envoltos em matriz fina

3.5.2 – Unidade DA2.

Sobre os andesitos da unidade DA1, ocorre uma seqüência de tufos e brechas andesíticas de coloração roxa. Os melhores afloramentos desta unidade foram observados em corte de estrada.

Apresenta estratificação primária dada pela intercalação de bandas mais grossas e bandas menos grossas, sua coloração as vezes passa do roxo para um

marrom escuro dependendo da composição da banda. O estratificação primária possui atitude em torno de N50ºW/10ºNE.

É uma unidade que possui muitas fraturas e, portanto muito friável. Os fragmentos observados nos seus estratos são geralmente de até 15 cm no máximo, porém são mais comuns as fácies compostas por cinzas, com poucos fragmentos.

É possível que esta unidade corresponda à unidade DSSE2, porém com os dados levantados neste trabalho não será possível comprovar esta correlação.

O contato oeste desta unidade é tectônico, e esta falha coloca-a em contato com a brecha de caráter tectônico da unidade DA3. A sudeste o contato se da com o diorito do DI, e aparentemente é um contato por falha. E o contato a nordeste é com a unidade DSSE3, que também é por meio de falha.

3.5.3 – Unidade DA3.

Nesta unidade os afloramentos são geralmente silicificados, sendo pouco alterados por intemperismo, formando lajedos.

Em contato tectônico com as outras unidades deste Domínio, a unidade DA3 é caracterizada por uma brecha tectônica, onde são encontrados muitos fragmentos de tamanhos desde centimétricos a grandes blocos métricos de rocha, tanto angulosos como arredondados de andesito verde, roxo e de diorito.

Sua coloração é esverdeada, porém ocorrem locais onde a cor roxa aparece. Está muito silicificada e com intensa epidotização. A ocorrência de sulfetos é observada, mas não é de interesse econômico sendo estes muito disseminados.

Esta unidade ainda não é bem entendida já que foi pouco estudada e carece de maior detalhe em sua caracterização.

3.6 – Domínio Plutônico (DP).

Este domínio ocorre na porção Sudoeste da área (Figura 3.2). É composto por diorito.

Os afloramentos desta rocha são bem preservados, gera uma região um pouco mais plana com relevo em torno de 20% de declividade, porém na parte mais sul da área esta rocha apresenta declives muito acentuados passando dos

45º de inclinação em alguns casos. É composto essencialmente por diorito caracterizado por textura fanerítica, com granulação de média a grossa.

Apresenta muitas vezes grandes fenocristais de plagioclásio, que podem chegar a 1 cm, além de possuir máficos (piroxênio) com comprimento de até 0,3 cm (Figuras 3.29). A coloração desta rocha varia de verde claro a esbranquiçado, para um verde ocre e mesmo verde escuro. É constituída por plagioclásio (30 a 40%), piroxênio (20 a 25%), clorita (15%), opacos (10%), quartzo (5%), carbonato (5%).

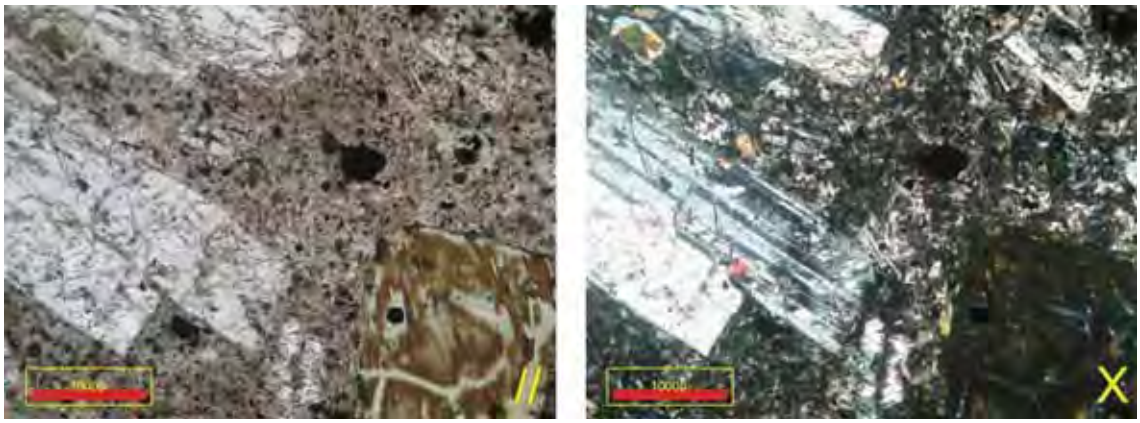

Figura 3. 29: Fotomicrografia do diorito da unidade DP, observam-se grandes fenocristais de plagioclásio e fenocristais de piroxênio já bem alterados envoltos por matriz fina a média. Também nota-se a presença de opacos, o que é constante em afloramentos

A presença de regiões intensamente silicificadas nesta unidade sugere possíveis continuações de estruturas mineralizadas que ocorrem nas unidades vulcânicas adjacentes, como o caso de uma zona silicificada nas proximidades do Veio Idália (parte mais SW da unidade) e algumas pequenas faixas silicificadas nas proximidades da possível continuação do Veio Atenea (parte NE da unidade).

Ocorrem afloramentos desta rocha com sulfetos disseminados, que não estão sendo considerados na pesquisa mineral da área, mas que pode ter teor ou, ao menos serem zonas indicadoras de áreas mais propicias para mineralização que ainda não foram identificadas.

É esperado que parte dos falhamentos da área tenham ocorrido durante a colocação desta unidade em contato com as unidades vulcânicas, já que os contato do corpo de diorito são tectônicos. A ausência de xenólitos e contatos irregulares reforça o indicio de contato tectônico entre os diversos domínios.

Embora os contatos devam ser tectônicos, não se pode descartar a hipótese de que o diorito tenha sido intrudido na seqüência vulcânica e posteriormente deslocado tectonicamente para níveis mais rasos.

3.7 – Veios Hidrotermais.

A intensa atividade tectônica acompanhada de magmatismo, favoreceu à formação de inúmeros veios hidrotermais na área de estudo. Todos estes mostram forte controle estrutural, definindo sistemas em função de suas orientações. Alguns deste veios encontram-se mineralizados.

Neste sub-tópico serão abordadas as principais características dos diversos veios que ocorrem na área.

3.7.1 – Sistema Pucamina.

Este sistema de veios ocorre com maior intensidade nas porções Sudeste e Leste da área (Figura 3.30). Possui atitude preferencial N55ºW/75ºSW. Este sistema de veios marca o limite entre o Domínio DSSE e DE, além de ocorrer no contato entre as unidades DSSE1 e DSSE3.

Este sistema de veios é composto por dois veios principais, o Veio Pucamina propriamente dito, que se localiza no contato entre o DSSE e o DE, e o Veio Sistema NW, que se localiza na porção central do mapa, no contato entre o DSSE e o DP.

Decidiu-se iniciar a descrição deste sistema de veios a partir de sul para norte, portanto o primeiro a ser descrito será o Veio Sistema NW e posteriormente o Veio Pucamina.

O Veio Sistema NW marca o contato entre as unidades DSSE1 e DSSE3, possui espessura variando entre 2 e 5 metros e aproximadamente 500 metros de comprimento. A espessura maior ocorre na porção mais a NW deste veio, e a menor espessura é encontrada na porção oposta. Estende-se desde o contato entre o Domínio DSSE e o Domínio Plutônico até cerca de metade da extensão mapeada das unidades DSSE1 e DSSE3, sua forma é lenticular.

A presença de veios paralelos e de menor importância foi constatada, porém não são mapeáveis na escala proposta por este trabalho. Zonações dentro deste veio não foram observadas, bem como a ausência de fragmentos

das rochas encaixantes. O contato com as encaixantes é retilíneo, o que reforça a hipótese de uma falha associada, porém não foram observadas estrias nos planos de contato, é cortado por fraturas oblíquas que não apresentam nenhum deslocamento.

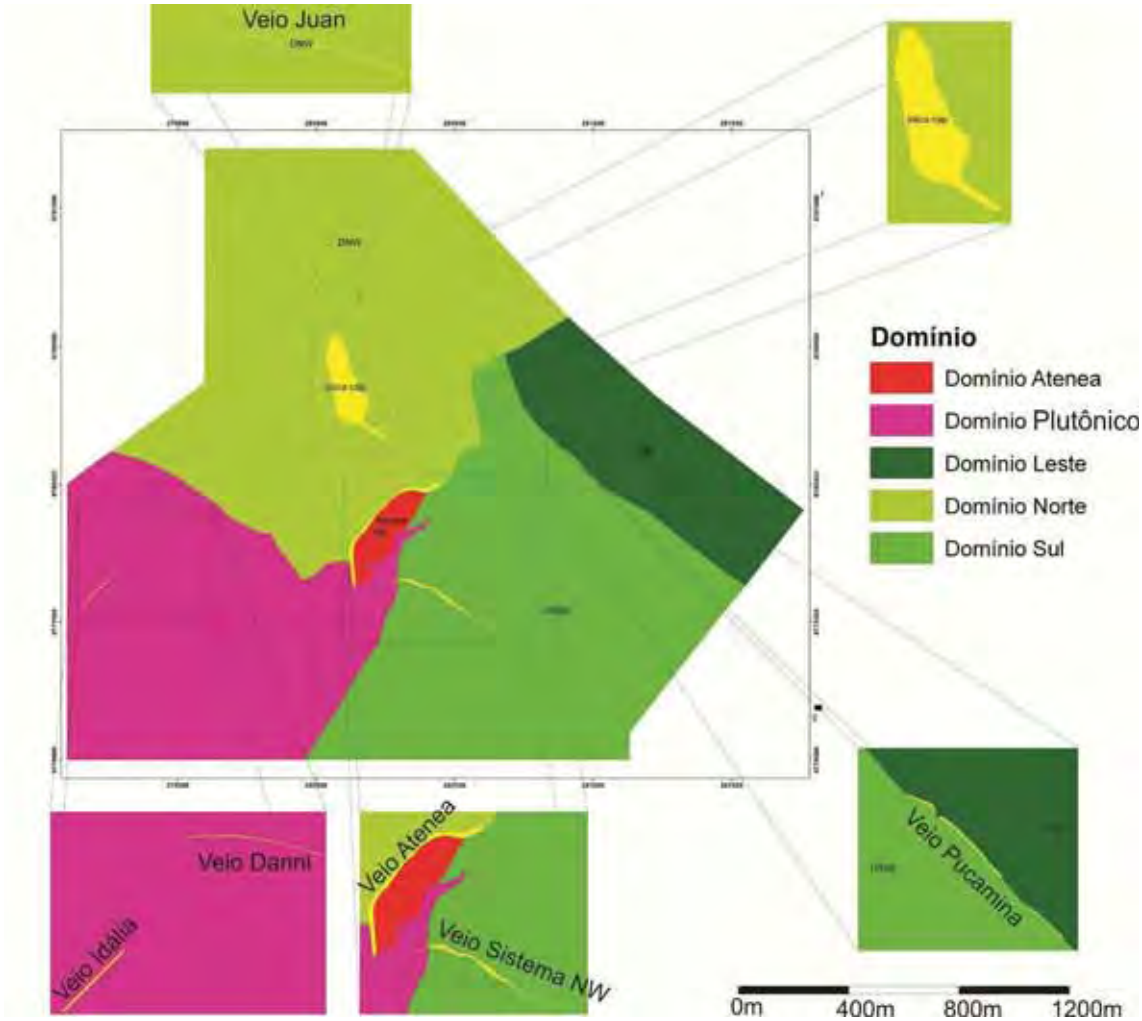

Figura 3. 30: dos veios hidrotermais mais expressivos da área.

É composto essencialmente por quartzo, não se encontram sulfetos óxidos ou mesmo malaquita, que seriam minerais indicadores de uma possível mineralização, portanto o veio foi descartado pela pesquisa que se desenvolvia na área.

No contato entre os domínios DSSE e DE, ocorre o Veio Pucamina (Figura 3.30). A espessura deste veio está em torno de 2 a 4 metros e aproximadamente 180 metros de extensão. Sua forma é lenticular e segue contínua durante todo seu comprimento.

Nas adjacências deste veio ocorrem pequenos veios, alguns com até 10 metros de comprimento, porém sem espessura considerável para a escala do mapa apresentado no Anexo 1.

Ocorrem alguns poucos fragmentos de rocha encaixante nas proximidades das paredes do veio, estes fragmentos mostram-se digeridos, o que reforça a idéia de que o veio não foi formado junto a uma brechação, mas sim devido a abertura e preciptação de quartzo juntamente a sulfetos.

Seus limites são bem marcados por falhas de direção NW, truncadas por fraturas de direção NE que não geram nenhum deslocamento perceptível a vista desarmada. Sua mineralogia é constituída essencialmente por quartzo, pirita, galena e especularita disseminadas. Ocorre epidoto em algumas porções mais próximas aos contatos e às suas terminações. Drusas de quartzo não são muito comuns. A textura boxwork é observada, mas não é freqüente.

3.7.2 – Sistema Atenea – Idália.

Este sistema de veios é o mais promissor da área em pesquisa, sendo que o trabalho desenvolvido pela empresa estava concentrado em cubar tal mineralização. Apresenta os melhores teores em ouro, cobre e prata.

São dois veios expressivos, o Veio Atenea, que ocorre na porção mais central da área, e o Veio Idália, que ocorre na porção SW da área (Fig. 3.30). Ambos possuem orientação NE, porém o Veio Atenea tem atitude preferencial N54ºE/80ºSE, enquanto que o Veio Idália possui atitude N20 a 30ºE/80ºSE.

O Veio Atenea, por ser mais resistente ao intemperismo que as rochas encaixantes, gera paredões com até 20 metros de altura, porém na sua porção SW mostra-se menos proeminente. Sua espessura variando de 5 a 15 metros e comprimento com aproximadamente 575 metros.

Em mapa apresenta um traçado arqueado onde na porção SW é devido à regra dos “Vs”, porém na extremidade NE a curvatura corresponde a uma inflexão para a direção E-W que pode ser causada por diferença de reologia das rochas falhadas, uma vez que o veio passa do andesito da unidade DNW4 a NW e a unidade DA3 a SE para rochas compostas por brechas vulcânicas das unidades DNW7 a NW e DA2 a SE.

A textura boxwork é comum, bem como drusas de quartzo, sendo encontradas em muitos afloramentos ao longo do veio, e nas encaixantes adjacentes.

O contato deste veio com as encaixantes é brusco, sendo marcado por falhas que o limitam. Algumas porções das paredes do veio preservam estrias que foram usadas para a caracterização das estruturas encaixantes do veio.

A mineralogia mais comum no veio é quartzo, pirita, galena, especularita, epidoto e esfarelita. Ocorre ainda barita em pequena quantidade, observada em superfície. Na galeria aberta para pesquisa do Veio Atenea ocorrem locais com maior quantidade de epidoto, o que lhe confere coloração esverdeada.

Em subsolo foi possível observar 4 segmentos do Veio Atenea, sendo que o principal, locado mais a NW possui cerca de 2 metros em sub-solo e os demais possuem de cerca de 0,5 a 1,5 metro de espessura. Este veios menores não são reconhecidos em superfície, porém aparentam ser independentes do veio principal.

O Veio Idália possui espessura em torno de 2 a 4 metros e comprimento mapeado neste trabalho de aproximadamente 150 metros. Sua forma é tabular.

Veios paralelos com espessura em torno de 1 a 0,5 metros são comuns na proximidade do veio Idália, não apresenta fragmentos de rocha encaixante e seus contatos são bruscos marcados por falhas de alto ângulo. Algumas estrias foram preservadas nos cristais de quartzo, o que auxiliou na caracterização da estrutura encaixante do veio.

A mineralogia é composta por quartzo, pirita, galena e especularita.

3.7.3 – Sistema Juan e Danni.

Estes sistema de veios (Fig. 3.30), dentre os sistemas já descritos, é o sistema com menor interesse econômico, já que aparentemente não possui bom teor de minério, além de serem pouco extensos.

O Veio Juan ocorre na porção mais a norte da área, alojado na unidade DNW1, nas proximidades do dique de andesito porfirítico da unidade DNW8. Este veio tem formato de uma grande lente cuja espessura é de 1,5 metros, sendo que tanto para E quanto para W o veio afunila e se fecha.

Seu fechamento para E é muito mais brusco que seu fechamento para W, sendo que para W ele se afunila até ficar com menos de 10 cm de espessura ramificando-se em vários pequenos veio de quartzo com espessura de 0,3 a 0,5 cm, enquanto que para E ele se fecha com espessura em torno de 0,5 m.

Na porção central, o Veio Juan possui de 1,2 a 1,5 m, sempre com direção preferencial E-W, com alto ângulo de mergulho tanto para norte quanto para sul podendo ser considerado subvertical.

Sua mineralogia é essencialmente quartzo (65 a 75%), pirita (10 a 15%), galena (5%) e óxidos de Fe (10 a 15%). O quartzo do veio é leitoso, com estrutura maciça.

O Veio Danni também possui direção E-W, com alto ângulo de mergulho, ocorrendo na porção sudoeste da área, encaixado no diorito pertencente ao Domínio Plutônico.

Em algumas porções o veio está muito alterado com coloração amarelada a alaranjada. A mineralogia do veio se resume a quartzo (60 a 70%), sulfetos de Fe e Pb (15 a 20%), e alguns óxidos e hidróxidos de Fe (20 a 30%).

3.7.4 – Sílica Cap.

A sílica cap ocorre em um alto topográfico correspondendo a uma zona silicificada, onde ocorrem veios de quartzo e a rocha encaixante também encontra-se silicificada.

A presença de especularita é observada, porém a ocorrência de sulfetos não é muito comum, a não ser nas proximidades de veios de sílica mais possantes, que são raros e atingem no máximo 30 cm.

Estes veios possuem diversas orientações, contudo a orientação que se destaca mais é a NE. Possuem comprimento em torno de 30 a 40 cm.

3.8 – Possíveis Correlações para as Unidades Litológicas Descritas.

A correlação das unidades dos diferentes domínios e por vezes de um mesmo domínio, se torna difícil, já que não se conhece a estratigrafia geral, pois na bibliografia estas unidades são tratadas como pertencentes ao Supergrupo Calipuy sem mencionar, variações e subdivisões existentes.

Além disso, as litologias da área são monótonas correspondendo em sua maioria a andesitos e seqüências de tufos/brechas. Visando destacar as semelhanças e diferenças destas unidades mapeadas, suas principais características são tabeladas para os dois tipos principais de associação litológicas: Andesitos (tabela 1) e tufos/brechas (tabela 2).

Tabela 1: Tabela comparativa das unidades compostas por andesitos.

Unidade	Espes sura mínima (m)	Cor	Textura	Estrat. Primária/ Escala	Feno Cristais	Tamanho fenocristais	observação
DSSE1	325	Verde/ roxo	Afanítica	Pouco visível/ 10 a 30 cm	plagioclá sio	3 mm	-
DSSE3	375	Verde/ roxo	Afanítica	Visível/ 10 a 15 cm	plagioclá sio	2 a 3 mm	-
DSSE5	325	Verde claro	Fanerítica	Não observada	plagioclá sio	3 mm	Veios de carbonato e malaquita
DE1	175	Verde escuro	Fanerítica	Visível/ 20 a 50 cm	Plagiocl ásio e piroxêni o	4 mm	Veios de carbonato
DNW1	275	Verde/ roxo/ marrom	Fanerítica	Visível em alguns locais/ 20 cm	Plagiocl ásio e piroxêni o	3 a 4 mm	Veios de malaquita e veios de quartzo com pirita e galena
DNW3	50	Verde escuro	Afanítica	Não Observad o	plagioclá io	1 mm	Amigdalas de clorita e epidoto
DNW4	350	Verde claro a escuro/ro xo	Fanerítica a afanítica	Pocuo Visível/ 20 cm	Plagiocl áio e piroxêni os	3 a 5 mm	Amgdalas de clorita e epidoto
DA1	25	Roxo	Afanítica	Não observado	Plagiocl ásio	3 mm	-

Tabela 2: Tabela comparativa das unidades compostas por brechas e tufos.

Unidade	Espessura mínima (m)	Cor	Bandamento	Tamanho predominante das bandas	Fragmentos	Observação
DSSE2	225	Roxo	Visível	30 a 40 cm	2 a 40 cm	Fragmentos ovalados
DSSE4	150	Roxo	Não observado	-	6 a 30 cm	Rocha resistente
DE2	175	Roxo	Visível	2 a 4 metros	6 a 30 cm	Fragmentos arredondados
DNW2	50	Roxo	Visível	20 a 30 cm	6 a 30 cm	Rocha friável
DNW5	50	Roxo	Visível	15 a 50 cm	6 a 15 cm	Intercalação com derrames andesíticos
DNW6	150	Branca a verde claro	Visível	1 a 4 metros	6 a 40 cm	Fragmentos arredondados
DNW7	100	Vermelha	Visível	1 metro	10 cm	-
DA2	200	Roxo	Visível	30 a 50 cm	10 a 15 cm	-

3.8.1 – Correlação entre as unidades DSSE1 e DA1 e DSSE2 e DA2.

De acordo com a Tabela 1, e com as observações feitas em campo e descritas em itens anteriores, as unidades DSSE1 e DA1 compostas por andesitos verdes, com textura afanítica e fenocristais de plagioclásio de dimensões parecidas, indica uma correlação entre as unidades.

Esta relação é reforçada pela estratigrafia local de cada uma destas unidades que são sobrepostas por brechas (DSSE2 e DA2), cuja estratificação é facilmente reconhecível, e de proporções semelhantes, e apesar dos fragmentos da unidade DSSE2 serem maiores que os da unidade DA2, ainda assim são unidades em campo muito semelhantes. Afloram de maneira semelhante e são muito friáveis.

Porém, a unidade DA1 não teve muitos pontos descritos para que esta correlação seja totalmente confiável. Um fator que dificulta muito esta correlação é o fato de que a unidade DA1 está muito silicificada, o que pode estar mascarando algumas feições comuns entre esta unidade e a DSSE1.

Contudo, a estratigrafia semelhante e as características muito parecidas entre as brechas sobrepostas e as semelhanças assinaladas na tabela 1, são um forte indício de que estas unidades são correlacionáveis.

3.8.2 – Correlação entre as unidades DE2 e DNW6.

Estas unidades são constituídas de brechas vulcânicas com bandas com clastos maiores (em torno de 30 cm) e bandas com clastos menores (em torno de 6 cm) ou mesmo apenas cinzas vulcânicas.

Como é possível se observar na Tabela 2, estas unidades possuem características semelhantes, apesar das cores não serem compatíveis. As espessuras dos estratos vulcânicos é compatível, assim como o tamanho dos clastos. Os afloramentos não são tão parecidos, apesar do campo ter mostrado que em alguns pontos há grande semelhança entre eles.

4 – Geologia Estrutural da Área.

Neste capítulo são apresentadas as principais feições estruturais que ocorrem na área, fazendo-se uma síntese dos eventos tectônicos que podem ter afetado a área.

É importante situar o leitor quanto aos nomes utilizados para os sistemas de fraturamento. A família de fraturas de direção NW são as que controlam o Veio Pucamina e, portanto, são denominadas de fraturas do sistema Pucamina.

As fraturas pertencentes a família NE são associadas ao Veio Atenea e, portanto, são denominadas de fraturas do sistema Atenea. O mesmo ocorre para o sistema Juan, que possui direção E-W, e é associada ao veio de mesmo nome.

Ainda são abordados os resultados das interpretações obtidas para cada sistema de geração de veios, definindo-se o padrão cinemático de cada um, possibilitando assim uma tentativa de melhor entendimento da tectônica local.

Apesar de a área em estudo ser reduzida, seu arranjo estrutural é muito complexo, ocorrendo várias falhas que colocam blocos de unidades parecidas em contato, dificultando a interpretação da estratigrafia local.

Mesmo assim, optou-se por descrever a geologia estrutural da área como um todo, dispensando a separação por domínios, como foi utilizado para a descrição das unidades, separando apenas em famílias de fraturas, facilitando assim a interpretação.

A figura 4.1 mostra as principais falhas identificadas na área.

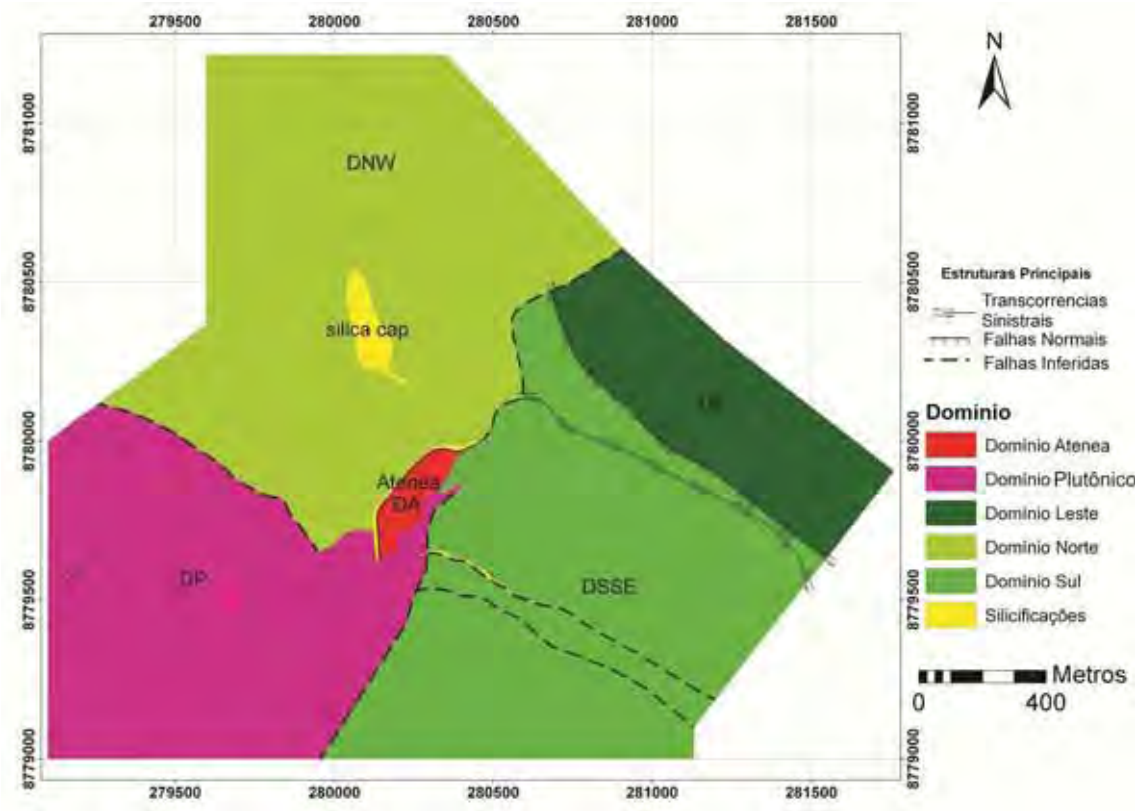

Figura 4. 1: Mapa de localização das principais falhas estudadas na área.

4.1 – Estratificação Primária.

A estratificação primária nas rochas observadas é mais visível nas brechas e tufos, embora também possa ser identificada em alguns dos andesitos.

Esta estratificação, nos tufos e brechas, geralmente é marcada pela intercalação de bandas com maior quantidade de fragmentos e bandas com menor quantidade de fragmentos (Figura 4.2), enquanto que nos andesitos a estratificação primária é marcada pelos intervalos entre os derrames, que gera um descontinuidade marcada por uma superfície rugosa que em geral é aparentemente plana (Figura 4.3). Localmente observam-se orientações dos fenocristais definindo uma estrutura de fluxo concordante com outros planos de estratificação primária.

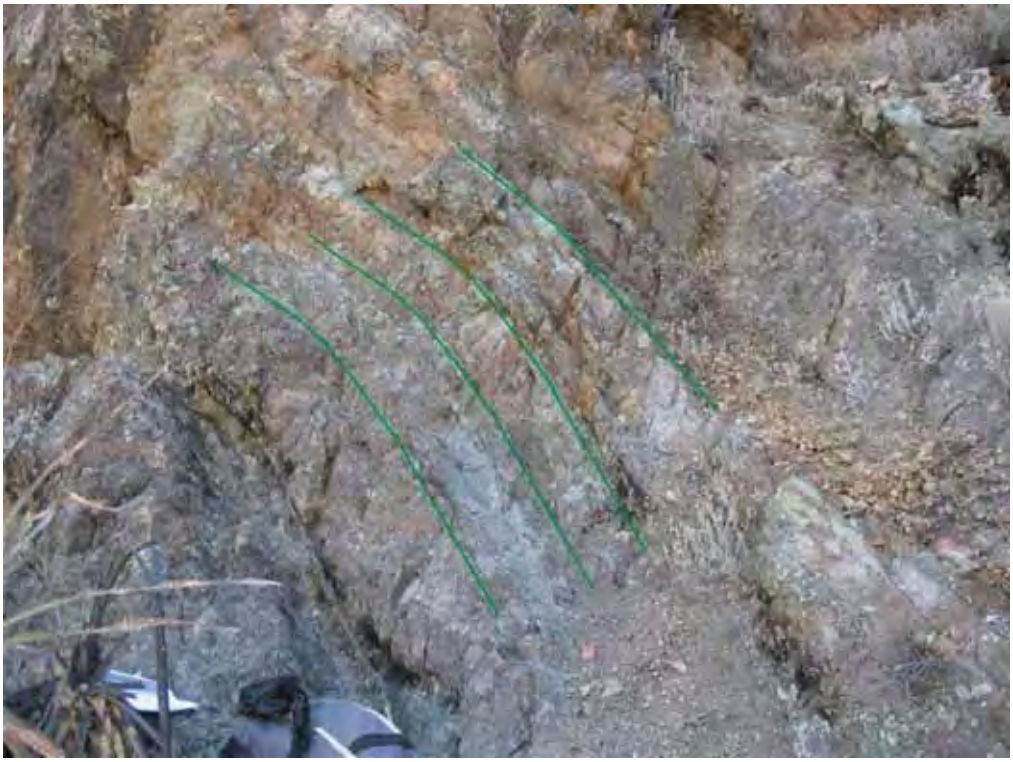

Figura 4. 2: Ilustra o plano de estratificação primária em seqüência de tufos e brechas vulcânicas (Porção leste da área de estudo unidade DE2; ponto MP-161).

No mapa geológico em anexo (Anexo 1) é possível ver o padrão da estratificação primária, que apresenta orientação preferencial com mergulho para NE (Figura 4.4),com máximo N82W/32NE.

A tendência principal da estratigrafia, com mergulhos suaves para SE, pode ser totalmente devido ao basculamento tectônico de um plano original subhorizontal, ou ser em parte herdada de um paleo declive da encosta de um edifício vulcânico, ou ainda uma combinação dos dois fatores.

Nota-se também uma dispersão de medidas que é interpretada como devido a perturbações locais das camadas pelas falhas que afetam a área.

Figura 4. 3: Andesitos com estratificação primária da unidade DE1; ponto MP-259.

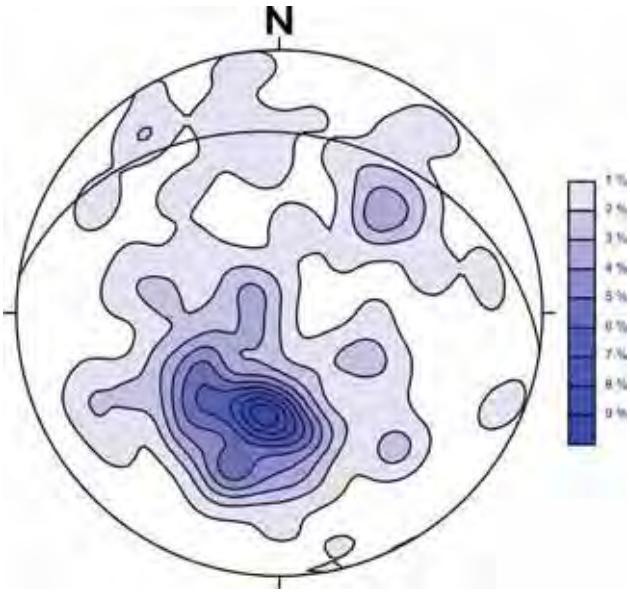

Figura 4. 4: Estereograma de contorno da estratificação primária de toda a área. Número de medidas: 173; Máximo: N82W/32NE.

Analisando separadamente os blocos definidos no capítulo 3, pode se observar que o padrão de estratificação primária gerado para o bloco DSSE possui dois máximos, sendo um com atitude N42E/20SE e outro com atitude N32W/27NE (Figura 4.5).

Apesar do estereograma da figura 4.5 mostrar um máximo principal N42E/20SE, a medida que reflete o padrão geral da área encaixa com o máximo secundário de atitude N32W/27NE, indicando um certa preferência dos mergulhos da estratificação primária deste bloco também para NE, com variações para SE, que poderiam ser alguns feições de dobras cujo eixo teria direção aproximadamente E-W.

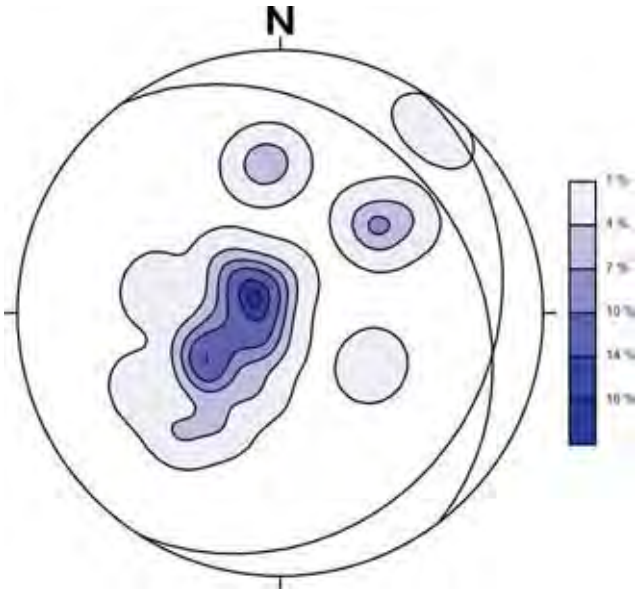

Figura 4. 5: Estereograma de contorno da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DSSE. Número de medidas: 29; Máximos: N42E/20SE, N32W/27NE.

Para o bloco DE o padrão também se confirma, contendo algumas pequenas variações, marcadas pelo aumento do ângulo de mergulho nas proximidades das falhas (Figura 4.6). Para o bloco DNW predominam mergulhos suaves, porém, para N e NNW, com máximos N88E/30NW (figura 4.7). A dispersão dos dados é devida ao baixo ângulo de mergulho das camadas, além da influência da grande quantidade de fraturas existente nesta região.

É possível ver no mapa em anexo (Anexo 1) que a estratificação primária nas proximidades da falha que encaixa o veio Pucamina mostra perturbações, o que faz com que a estratificação primária mergulhe para SW, saindo do padrão NE. O mesmo ocorre na porção central da área, onde se tem a falha que encaixa o veio Atenea que também perturba a estratificação primária, originando os mergulhos para SE.

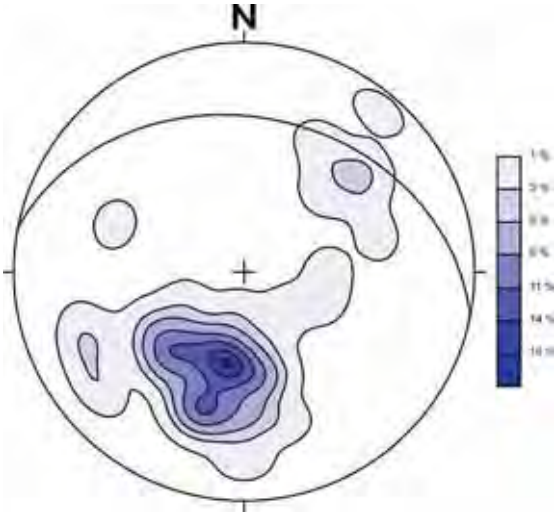

Figura 4. 6: Estereograma de contornos da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DE. Número de medidas: 76; Máximo: N80W/33NE.

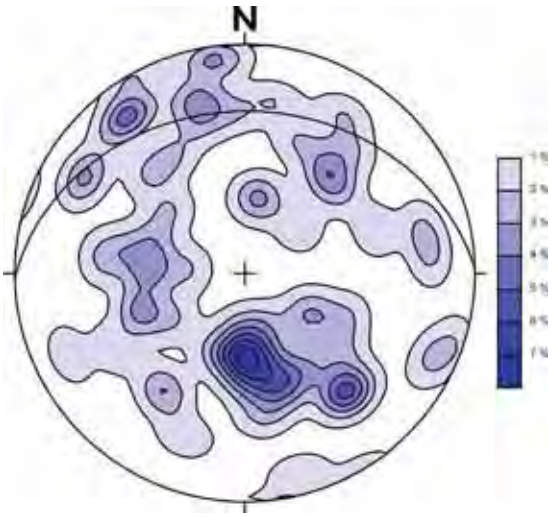

Figura 4. 7: Estereograma de contornos da estratificação primária referente ao domínio estratigráfico DNW. Número de medidas: 68; Máximo: N89E/30NW.

4.2 – Fraturas.

As fraturas, que incluem juntas e falhas, correspondem à feição estrutural mais abundante da área, muitas vezes marcando contatos entre os domínios litoestratigráficos apresentados no capítulo 3.

São observadas três famílias de fraturas principais (Figura 4.8), com direções NW, NE e E-W, que coincidem com as famílias de sistemas de veios mineralizados Pucamina, Atenea-Idália e Juan, respectivamente.

Para se obter melhores resultados e para que se possa ter melhor compreensão das estruturas, optou-se por descrevê-las separadamente. Sendo

assim, se iniciará a descrição das estruturas pela família NW, seguida pela NE e por fim a descrição da família com orientação E-W.

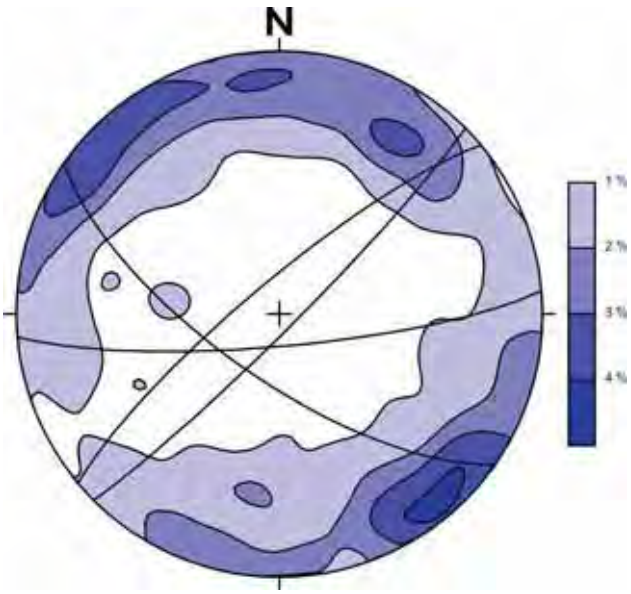

Figura 4. 8: Estereograma de contornos das fraturas medidas em toda a área. Número de medidas: 1040; Máximos: N50E/80NW, N45E/85SE, N55W/70SW, N85E/80SE.

Para a separação das famílias de fraturas foram utilizados valores limites, sendo que as fraturas E-W se limitam a 15º tanto para NE quanto para NW, sendo assim os valores maiores que 15º são considerados ou da família NE ou da família NW.

4.2.1 – Família de fraturas NW.

Esta família de fraturas ocorre principalmente na região oeste e sudoeste da área de estudo. Não foram observadas fraturas expressivas nas porções a noroeste e leste da área, com exceção à falha que limita os domínios DI e DNW, que é a única ocorrência de uma grande estrutura desta família na região leste da área.

Esta família possui orientação preferencial N60W/70SW (Figura 4.9). Foram identificadas 3 grandes falhas que colocam litologias distintas lado a lado, como o caso do contato entre os domínios DI e DNW ou DSSE e DE, e o caso entre as unidades DSSE1 e DSSE3, DSSE3 e DSSE5 e a DSSE4 e DSSE5 (anexo 1.1). O veio Pucamina está associado a este sistema de fraturas.

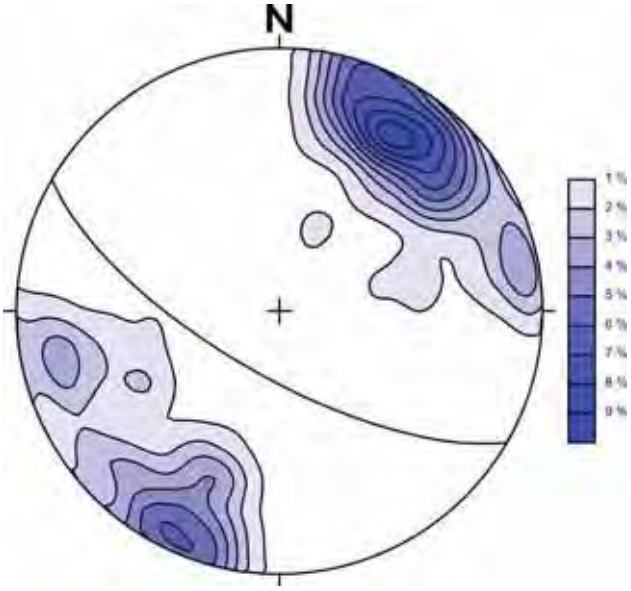

Figura 4. 9: Estereograma de contornos das fraturas com direção NW medidas em toda a área. Número de medidas: 324; Máximos: N60W/70SW.

Geralmente ocorrem como zonas de fraturas, onde há várias fraturas paralelas, com espaçamento de no máximo 30 a 50 centímetros, sendo que o mais freqüente é o de 50 cm (Figura 4.10).

Os planos de falha apresentados para esta família são lisos a muito pouco rugosos, apresentando poucas estrias e degraus preservados. Fraturas conjugadas não são comuns, porém ocorrem localmente (Figura 4.11).

A maior parte das fraturas desta família é acompanhada por silicificação e epidotização, algumas vezes com malaquita associada (Figura 4.12). Esta família encaixa dois veios mineralizados, sendo que um deles é de extrema importância para a área já que é um dos veios mais expressivos (Veio Pucamina), está localizado no contato entre dois domínios, o DSSE e o DE. O outro veio mineralizado que ocorre nesta área é de pouca expressão e é ilustrado na figura 4.12.

Figura 4. 10: Foto com visada para NW mostrando as fraturas paralelas referentes ao sistema NW (Veio Pucamina), ponto MP-150.

Figura 4. 11: Foto mostrando o par conjugado que pode ocorrer nas fraturas da família NW, ponto MP-639.

Figura 4. 12: Mostrando veio de quartzo com pirita logo a esquerda do martelo, e logo a direita, na porção esverdeada, rocha (andesito) com malaquita (Foto com visada para WNW).

As estrias encontradas nesta família de fraturas são, em sua maioria, com baixo ângulo de mergulho, geralmente não passando de 30º, o que indica movimento essencialmente obliquo, com maior valor da componente direcional. Foram obtidas algumas poucas medidas de estrias com alto ângulo, porém são interpretadas como movimentação local e/ou reativação tardia.

As estrias encontradas nos planos desta família de fraturas apresentam mergulho predominante para SE e os degraus observados indicam movimentação sinistral normal. Com o mergulho dos planos para SW associados à estrias mergulhando para SE e degraus indicando movimentação sinistral normal, interpreta-se que este sistema de fraturas possua caráter sinistral.

O bloco diagrama da figura 4.13 ilustra a movimentação dos blocos para duas (2) falhas NW situadas na porção Leste da área (Contato entre o Domínio DSSE e DE) mostrando o movimento oblíquo sinistral normal.

- Todo o domínio DSSE se movimenta para sul em relação ao domínio DE, que se move para norte.

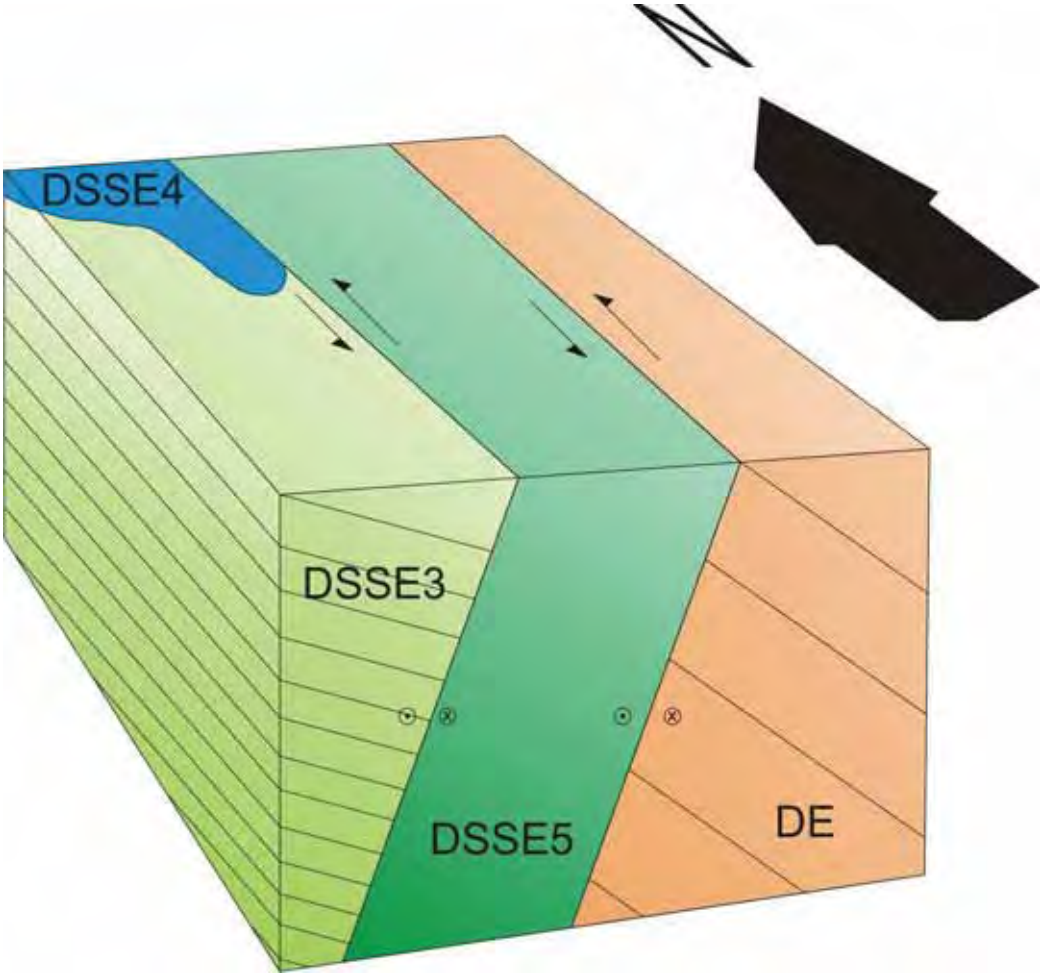

Figura 4. 13: Bloco diagrama mostrando o movimento relativo sinistral normal entre os Blocos separados pelas falhas NW

O movimento relativo das unidades DSSE1 e DSSE2, e o movimento das unidades DSSE1 e DSSE3, que são separadas por falhas de direção NW não foi possível de ser verificado, haja visto que não foram encontrados indicadores cinemáticos para identificar os movimentos, sendo reconhecidos apenas o plano de falha.

4.2.2 – Família de fraturas NE.

Esta família de fraturas também é composta por zonas de falhas, ocorre na porção central da área de estudo marcando a divisão entre as porções noroeste e sudeste da área. Aparenta ser restrita à porção central da área, não sendo encontrada em partes mais a noroeste e sudeste da mesma.

A família de fraturas NE possui atitude preferencial em torno de N50E/85SE ou N50E/85NW (figura 4.14). São grandes falhas e juntas contínuas,

que atravessam a área de sudoeste a nordeste. Na porção central da área, falhas pertencentes à este sistema formam um grande divisor, pois separa a área em dois conjuntos principais: o conjunto SE com os domínios estratigráficos DSSE e DE; e o conjunto NW com os domínios estratigráficos DNW e DP.

Esta família em geral mostra-se como zonas de fraturas, onde são encontradas várias fraturas paralelas umas as outras, porém a ocorrência é restrita às proximidades da grande falha que divide a área nos dois grandes conjuntos. Ocorrem pequenas fraturas em locais afastados desta falha principal, porém são de pouca expressão e com menor continuidade.

Os planos de fratura desta família são lisos a muito pouco rugosos, apresentando poucas estrias e degraus, principalmente onde há silicificação, o que é muito comum para esta família, visto que a principal feição que a marca é justamente um dos veios de quartzo que está encaixado nela.

No mapa em anexo (Anexo 1.1) é possível observar que a falha que encaixa o Veio Atenea possui morfologia complexa, que mostra variações de atitude, embora a atitude preferencial mantenha-se com o mergulho para SE, (Figura 4.15). Esta morfologia se repete nos diques de riolito e diorito que estão na porção mais a NW da falha principal, o que sugere uma relação genética entre esta falha principal e as fraturas que encaixam os diques.

As estrias encontradas para esta família possuem alto ângulo de mergulho, tendendo em geral ao tipo *dip*. Somando os dados de indicadores cinemáticos (degraus) a estes dados de estrias, é possível afirmar que o movimento preferencial desta falha foi normal, onde o bloco SE é o bloco abatido.

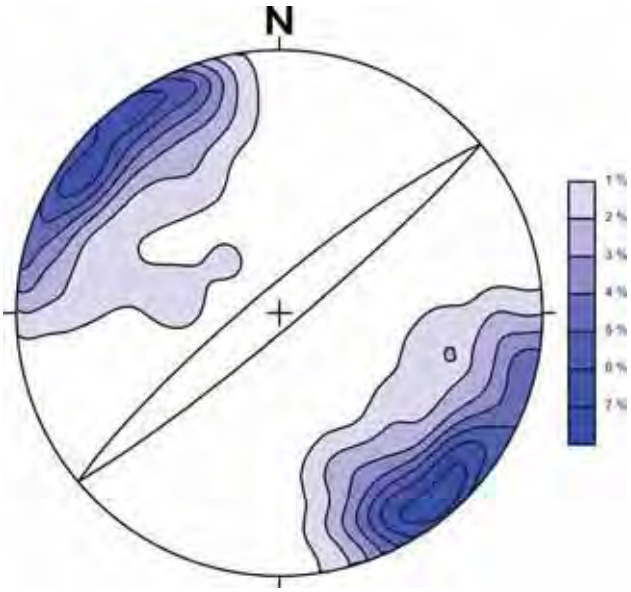

Figura 4. 14: Estereograma de contorno das fraturas com direção NE medidas em toda a área. Número de medidas: 550; Máximos: N50E/85NW e N50E/85SE.

O contato entre o domínio DP e o domínio DSSE possui direção coincidente com a falha que encaixa o veio Atenea, porém com os dados disponíveis não é possível dizer se são a mesma estrutura ou mesmo se são contemporâneos.

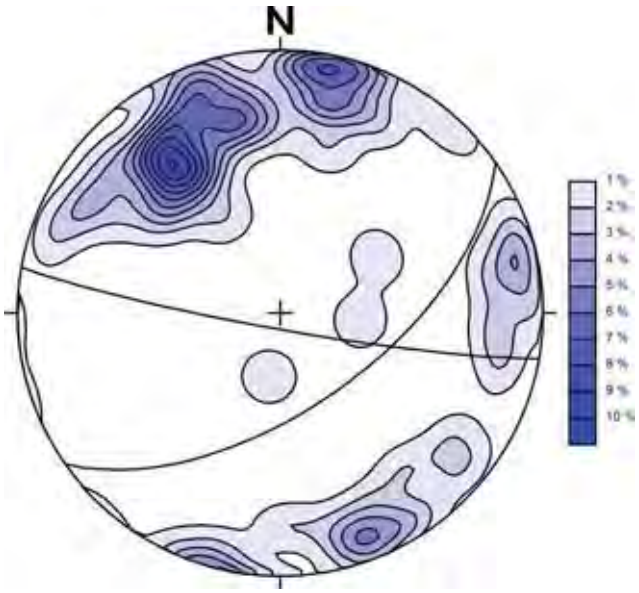

Figura 4. 15: Estereograma de contornos das fraturas medidas no veio Atenea. Número de medidas: 72; Máximos: N54E/60SE, N80W/85SW

Há também outra falha importante, e que também encaixa um veio de quartzo mineralizado desta família, denominado de veio Idália. Ocorre na porção

sudoeste da área e as estrias e degraus confirmam o caráter normal da família de fraturas NE (Figura 4.16).

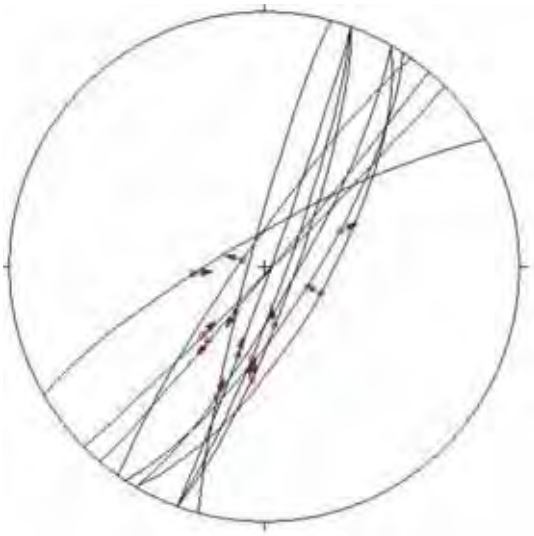

Figura 4. 16: Estereograma com os círculos máximos e as estrias das falhas do veio Idália. Número de medidas: 12.

4.2.3 – Família de fraturas E-W.

Esta família de fraturas ocorre em toda a área, porém com maior expressão na porção norte da mesma, que é possível observar no mapa em anexo (Anexo 1.1). São fraturas que limitam unidades como no caso do contato entre as unidades DNW1 e DNW 4 e as unidades DNW1 e DNW6.

Ao contrário das outras duas famílias de fraturas já citadas, esta não apresenta zonas de fraturamento tão intenso, manifestando-se apenas com um ou dois planos e não com vários planos paralelos como as demais já citadas. Sua atitude principal é N88W/80SW como é possível observar na figura 4.17.

Os planos observados desta família são lisos a pouco rugosos, muito raramente apresentando estrias, sendo que em apenas dois pontos foi possível retirar dados de indicadores cinemáticos referentes à esta família. As estrias e degraus observados mostram um caráter normal desta família de fraturas.

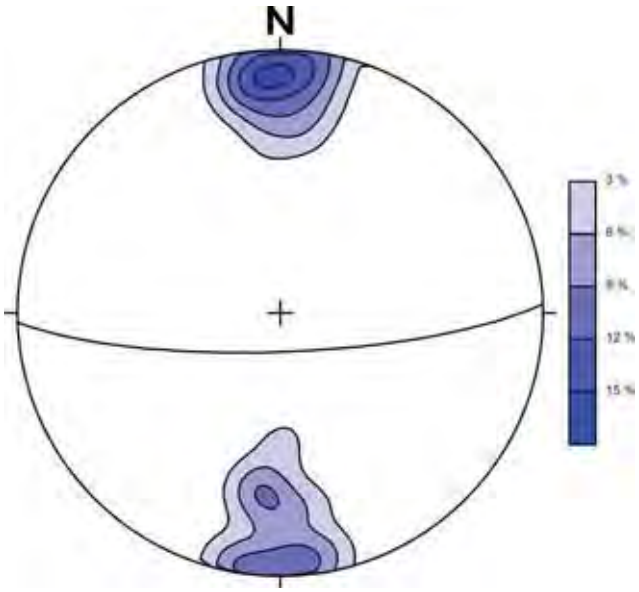

Figura 4. 17: Estereograma de contornos das fraturas com direção E-W medidas em toda a área. Número de medidas: 166; Máximos: N88E/78SE.

Como as outras famílias já citadas, para a família E-W também não foram reconhecidos pares conjugados em campo, sendo que a dispersão observada na figura 4.17 deve representar variações local na orientação principal das fraturas.

Ao contrario das demais famílias de fraturas descritas anteriormente, esta família não apresenta silicificação associada, com exceção da falha que encaixa o veio Juan, que possui cerca de 106 metros de comprimento, com espessura chegando a no máximo 2 metros, porém em média possui espessura em torno de 1 metro.

O veio associado a esta família de fraturas possui pirita, galena e especularita, porém apresenta menos importância quanto a mineralização, já que é um veio muito pequeno e pouco espesso.

4.3 – Relação Temporal entre as Três Famílias de Fratura.

Com as observações feitas em campo, foi possível se definir uma relação temporal entre as três famílias de fraturas.

Através do mapa geológico fica claro que uma série de falhas com direção NW (Sistema Pucamina), presente na porção SE da área (Domínios DSSE e DE) é truncada por falhas do sistema NE (Sistema Atenea), indicando que ao menos em parte o processo de fraturamento NW antecedeu o NE.

Em escala de mapa não é possível ter a visualização do mesmo efeito citado acima para a família E-W, porém em escala de afloramento é possível visualizar que as fraturas de direção E-W não são cortadas por nenhum sistema de fraturas, mas sim corta e causa deslocamento centimétricos das fraturas das famílias NE e NW.

Portanto a relação temporal entre as famílias de fratura se dá com os planos NW sendo o primeiro evento tectônico da área, sendo transpostos pelos planos NE. Os diques de riolitos e dioritos possivelmente se alojaram durante o evento tectônico que gera a família NE. Como último evento tectônico ocorre a família E-W.

Por fim, o último evento tectônico expressivo que ocorre na área é o que gera as fraturas da família E-W, que cortam os sistemas de fratura anteriores (NE e NW).

Não foi observada nenhuma estrutura do tipo dúctil de grande porte, apesar de o estereograma de estratificação primária da figura 4.5 sugerir que há dobras, porém as mesmas podem ter se formado pelo arrasto que as falhas provocam.

4.3 – Dados de Paleoesforço.

Visando a caracterização cinemática das principais famílias de fraturas da área, e em função do tempo disponível para o trabalho de campo, fez-se um levantamento mais detalhado das três principais estruturas mineralizadas: Pucamina, Atenea e Idália.

Neste tópico do capítulo são tratadas apenas as falhas de grande importância, que são objetivos do trabalho e de maior interesse da empresa já que possuem mineralização de Au e Cu (Figura 4.18).

Sendo assim, serão separados os sistemas e analisados os paleoesforços de cada um deles, elaborando-se, em seguida, um modelo tectônico que ajuste da melhor maneira possível aos dados de paleo-esforço.

Para a análise cinemática dos dados obtidos foram utilizados dois softwares, o FaultKinWin e o TectonicsFP.

Tais softwares devem ser alimentados com os dados de direção do plano de falha, o mergulho de tal plano, direção da estria contida no plano, mergulho da estria e sentido de movimento ao longo do plano.

Após o processamento dos dados, os programas geram elipsóides que apresentam as direções preferenciais para os eixos de deformação mais prováveis para aqueles dados de entrada.

É importante lembrar que os estereogramas mostrados aqui são plotados todos no hemisfério inferior.

Também é importante ressaltar que os programas utilizados possuem limitações e que, por melhor que sejam os dados obtidos pelos cálculos computacionais, ainda assim ocorrem equívocos que as matrizes do programa não detectam ou não são programadas para solucionar, como, por exemplo, se inserirmos dados de pares conjugados, às vezes os programas citados não os reconhecem, principalmente se as fraturas apresentarem alta dispersão.

Após a leitura da bibliografia referente e várias tentativas para chegar ao melhor resultado, ainda não é possível dizer que os dados obtidos são os mais precisos possíveis, já que o volume de dados coletados não é grande o suficiente a ponto de não deixar dúvidas.

Muitos métodos são utilizados por ambos programas, sendo estes:

- método de calcular os auto vetores (eigenvectors) (Bingham 1964), que obtém os três eixos ortogonais para uma distribuição calculada por Bingham;

- Inversão Direta; apresentado por Angelier (1979), que é baseado no método dos mínimos quadrados da componente de tensão tangencial perpendicular às estrias;

- NDA (análise dinâmica numérica); apresentado por Spang (1972), que se baseia no cálculo dos eixos de compressão e tração para encontrar a orientação da tensão principal;

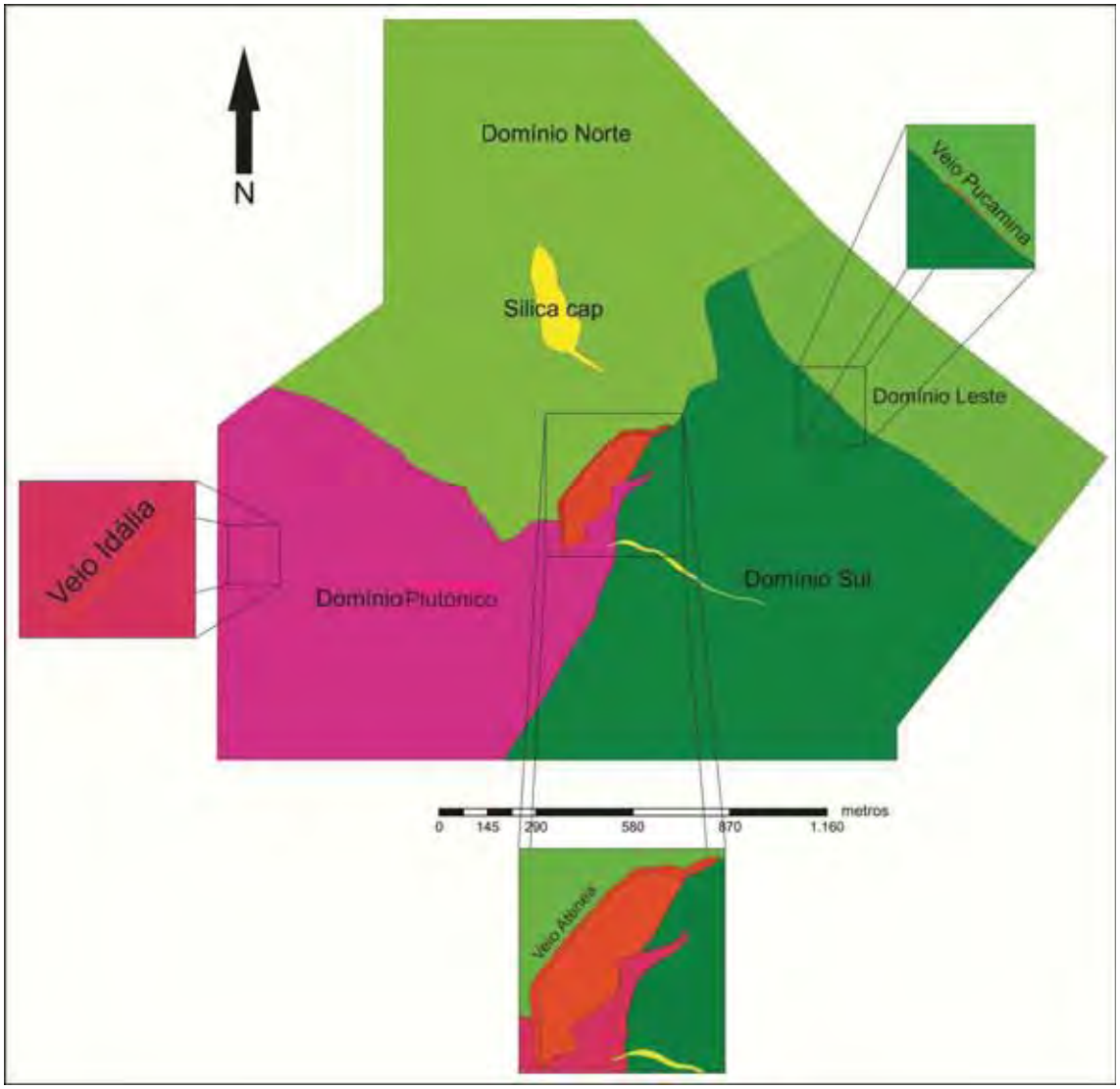

Figura 4. 18: Mapa de localização das principais falhas que foram submetidas a análise de paleoesforço

- Cálculo do Dihedro; apresentado por Angelier e Mechler (1977), que plota os planos de falha e calcula os eixos de tensão principais.

- Eixos PT, apresentado por Turner (1953), calcula os eixos de tração e compressão de cada plano.

Após entendimento dos métodos preferiu-se usar o método de calcular os eixos P e T, pois para os dados obtidos e obtenção de campo, foi o método que melhor resultado apresentou.

Ambos programas mostraram resultados semelhantes, porém a parte gráfica de um é melhor que a do outro e, portanto escolheu-se apresentar apenas as figuras geradas pelo Tectonics FP.

4.3.1 – Falha Pucamina.

A Falha de Pucamina se localiza na porção leste da área (figura 4.20), marcando o contato entre os Domínios Leste e Sul-Sudeste, já descritos anteriormente no capítulo 3. Esta falha é do tipo direcional sinistral, também já discutido em tópicos anteriores deste capítulo.

Com as medidas de falhas associadas a estrias e sentido de movimento obtidas em campo da Falha de Pucamina, pôde-se obter o estereograma que mostra a direção preferencial das falhas para NW, cujos mergulhos são preferencialmente para SW, ocorrendo alguns para NE (Fig. 4.19). As estrias associadas a estas medidas possuem baixo a médio ângulo de mergulho indicando um movimento preferencialmente direcional desta estrutura.

Para melhor funcionamento dos programas, das 22 medidas plotadas na figura 4.19 foram selecionadas apenas as que possuem mergulho para SW, como mostra a figura 4.20.

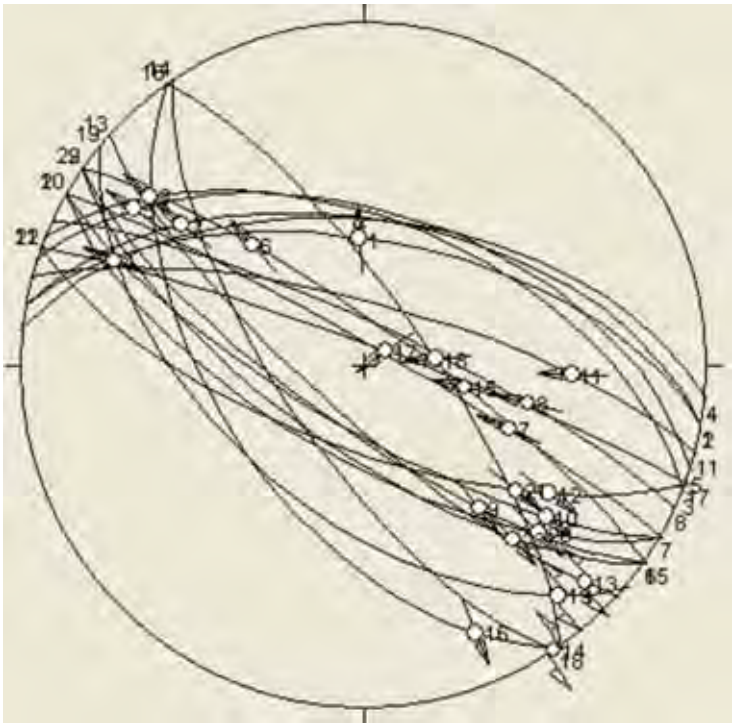

Figura 4. 19: Estereograma mostrando os círculos máximos e estrias associadas a cada plano de falha gerado pelo programa TectnicsFP.

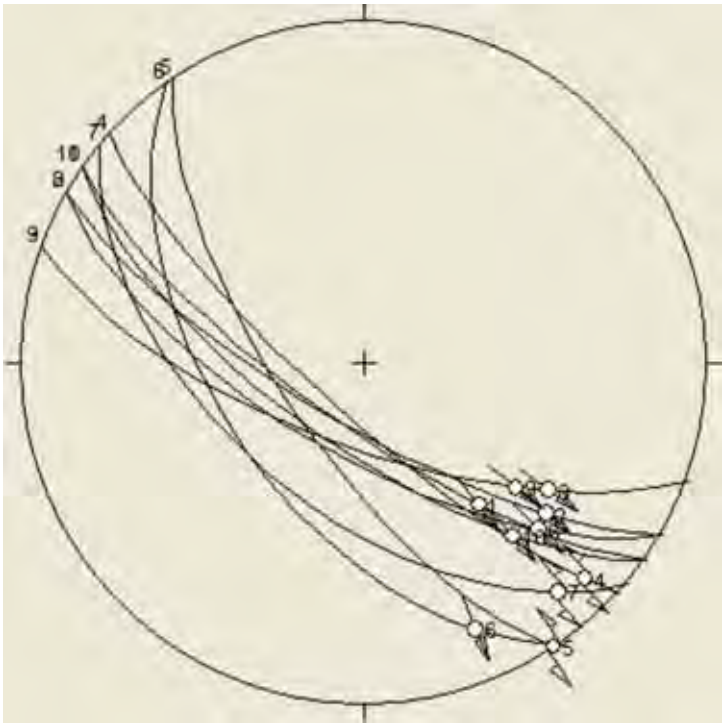

Figura 4. 20: Círculos máximos das medidas da falha Pucamina com direção NW e mergulho para SW.

Com tais dados foi possível, gerar a figura que mostra a posição mais provável dos eixos do elipsóide de deformação associado ao instante da formação das falhas (figura 4.21). Observa-se que o elipsóide de tensão gerado computacionalmente coincide com um elipsóide teórico que geraria falhas deste tipo, onde tanto o σ_1 quanto o σ_3 possuem baixo ângulo de mergulho indicando tratar-se de uma falha oblíqua com forte componente direcional sinistral.

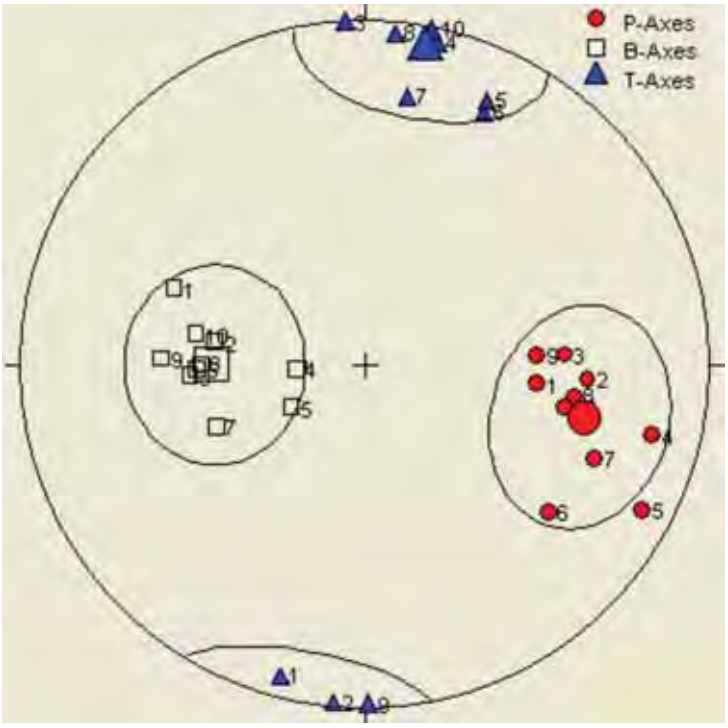

Figura 4. 21: Valores de P e T, equivalentes respectivamente a σ_1 e σ_3 para as medidas de falhas e estrias obtidas na falha Pucamina. P= 104/35, B= 270/54, T= 10/06, figura obtida a partir do software Tectonics FP.

Sendo assim temos que o esforço principal correspondente ao σ_1 observado na figura 4.21 reflete o geral para o que é admitido para a cordilheira andina, com direção E-W e baixo ângulo de mergulho, com distensão ou menor tensão na direção N-S, o que são coerentes com os diversos lineamentos regionais de direção NW que ocorrem em toda esta porção dos Andes.

4.3.2 – Falha Atenea.

Este conjunto de dados reflete as análises dos dados coletados no principal veio da área, denominado Veio Atenea. O sistema de falhas aqui analisado recebe o nome do veio já que este limita e encaixa tal veio.

Estas falhas são observadas na porção mais central da área (Fig. 4.10), e possuem direção preferencial NE, com uma inflexão para E-W (Fig. 4.22). Devido a esta inflexão, os dados foram tratados separadamente, para os segmentos N40ºE e E-W.

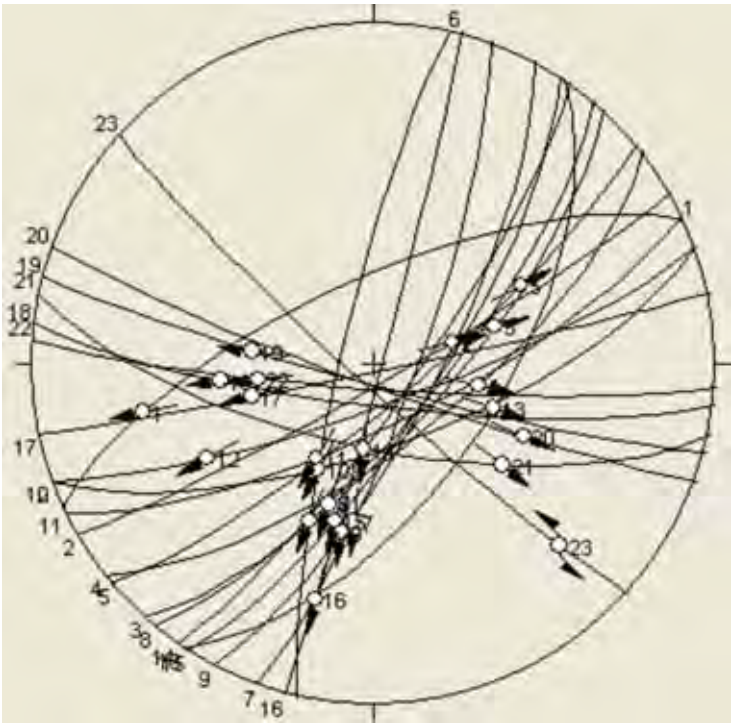

Figura 4. 22: Estereograma com as principais medidas de falhas com estrias da estrutura Atenea.

A Figura 4.23 mostra que o sistema de falhas NE com mergulho predominante para SE e alto ângulo de mergulho, as estrias obtidas indicam predominância de movimento da componente de mergulho, já que as estrias possuem ângulos maiores que 45º.

As observações de campo indicam falhas do tipo normal para este sistema. Após os dados serem lançados nos softwares é possível observar a possível posição dos eixos de deformação para este sistema.

A figura 4.24 mostra os resultados obtidos para os eixos de pressão e tração. Os resultados confirmam uma falha de caráter normal, onde espera-se que σ_1 esteja em uma posição vertical a subvertical, como ocorre na Figura 4.24, bem como σ_3 na posição horizontal a subhorizontal.

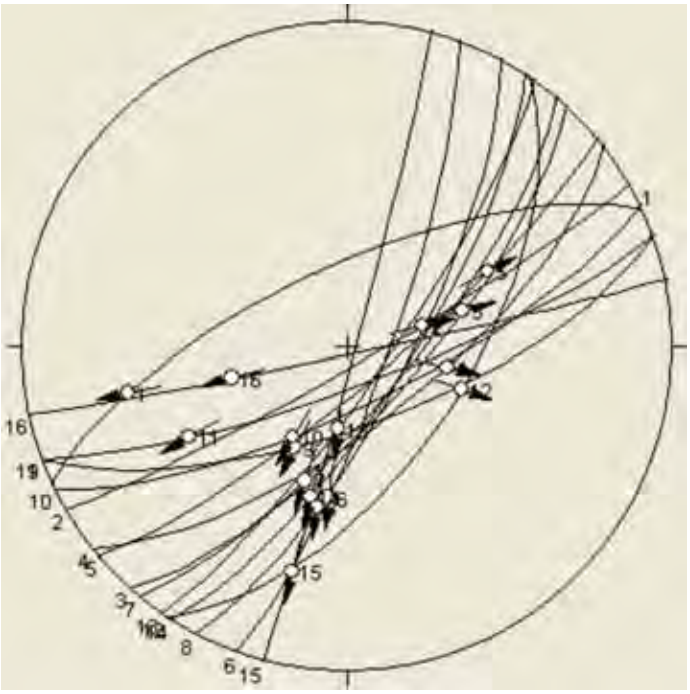

Figura 4. 23: Estereograma com as medidas de falhas pertencentes ao sistema Atenea com direção N40ºE e suas respectivas estrias.

Com este arranjo dos principais eixos da deformação, pode-se confirmar o que se observou em campo, o sistema de falha que encaixa o Veio Atenea possui componente preferencialmente de mergulho do tipo normal.

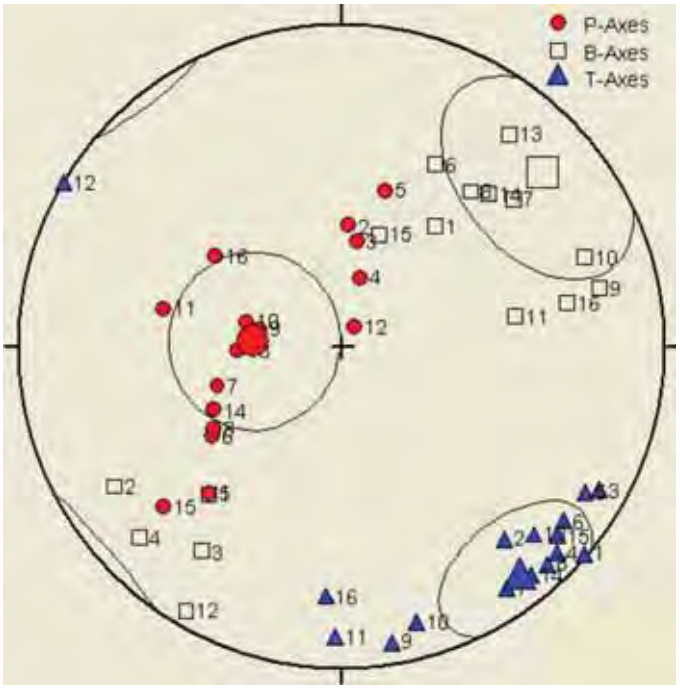

Figura 4. 24: Eixos do elipsóide de tensão para as falhas estriadas com direção NE do Sistema Atenea, P= 274/68, B= 49/19 e T= 142/12

Para os dados medidos na porção E-W deste sistema de falhas, pode-se observar alta obliqüidade das estrias (figura 4.25), porém ainda assim os eixos obtidos com o auxilio dos softwares mostra predominância do eixo de maior esforço (σ_1, representado na figura 4.26 como o eixo P) com posição subvertical, enquanto o eixo de menor esforço permanece com posição subhorizontal.

Este arranjo dos eixos do elipsóide de deformação indica que a falha que encaixa o Veio Atenea possui caráter normal.

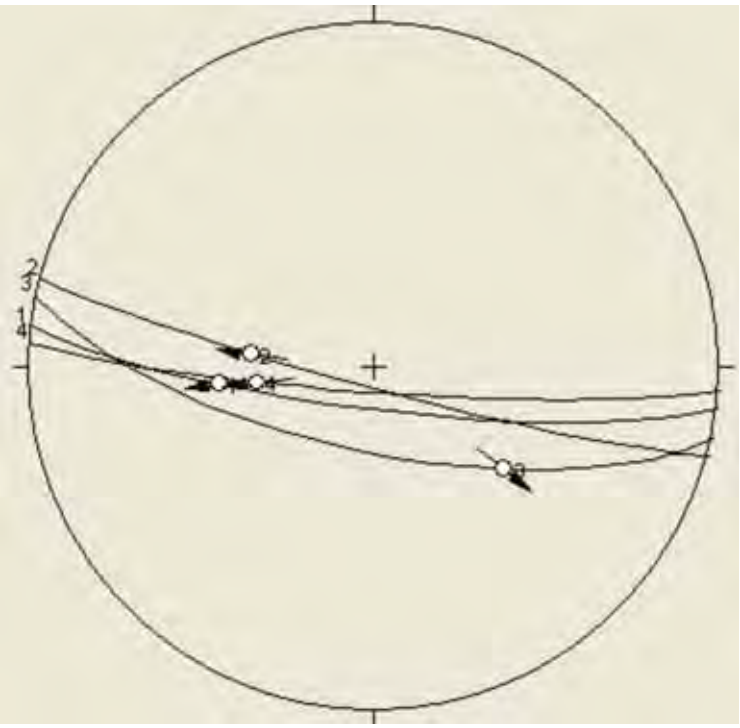

Figura 4. 25: Estereograma com as medidas de falhas e suas respectivas estrias com direção EW.

Apesar de ambos os segmentos (tanto NE quanto E-W) terem direções diferentes, a correlação entre eles é feita a partir dos elipsóides de deformação apresentarem maior encurtamento subvertical. Esta constatação é coerente com a interpretação de que a inflexão esteja relacionada com diferença da reologia das rochas aos dois segmentos da falha.

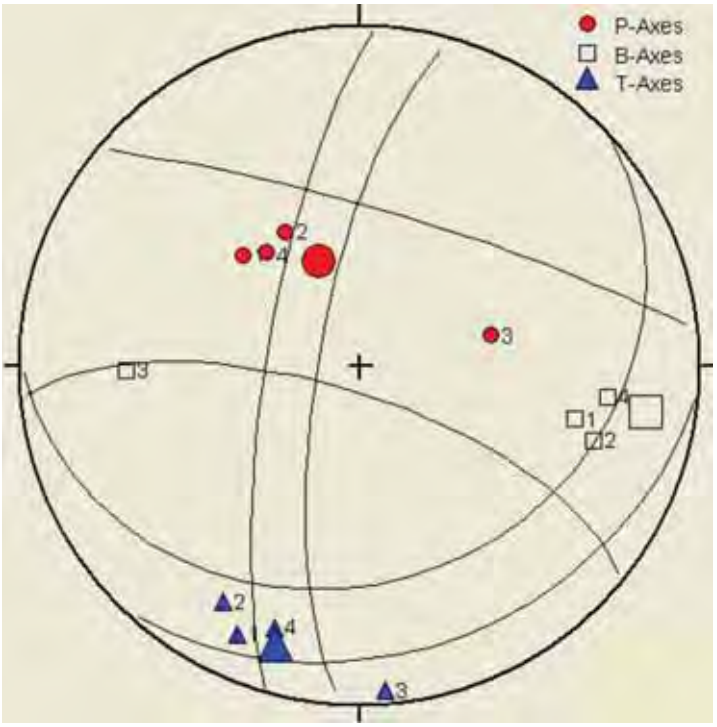

Figura 4. 26: Eixos do elipsóide de tensão para as falhas estriadas com direção EW do Sistema Atenea.

4.3.3 – Falha Idália.

Também de grande importância para a área, em questões econômicas e estruturais, é o conjunto Idália, que ocorre na porção Sudoeste da área, está inserido no Domínio Plutônico (Figura 4.19).

Este sistema de falhas possui direção preferencial NE, com altos ângulos de mergulho (Figura 4.27), apresentando estrias com alta obliqüidade. As observações de campo e as medidas obtidas indicam que esta falha possui caráter normal.

Segundo as análises realizadas com o auxilio dos softwares foi gerada a Figura 4.28, onde é possível identificar os eixos do elipsóide de tensão para o momento da formação das falhas desta família.

Como se observa na figura 4.28, o eixo de maior compressão encontra-se em uma posição subvertical, enquanto que o eixo de maior tensão encontra-se em uma posição subhorizontal.

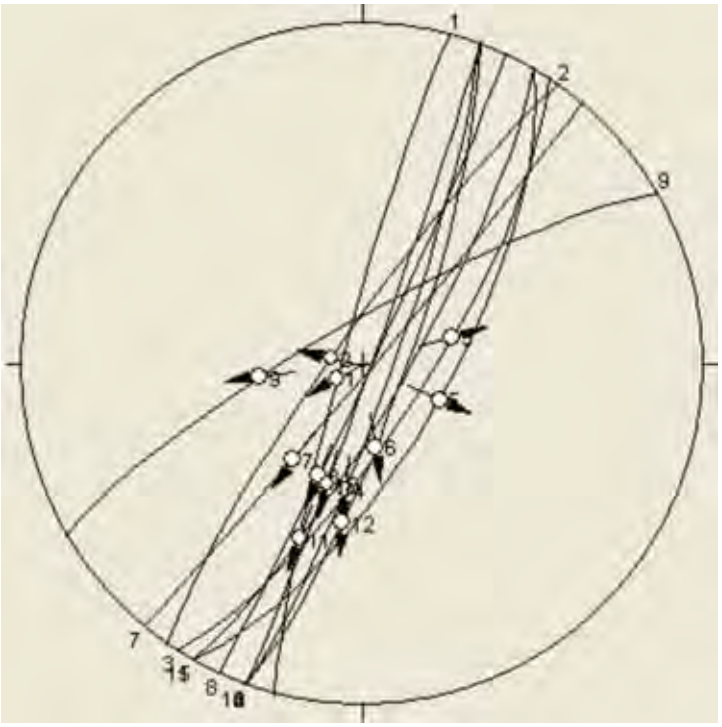

Figura 4. 27: Estereograma com as medidas de falhas e suas respectivas estrias para o sistema Idália com alto ângulo de mergulho.

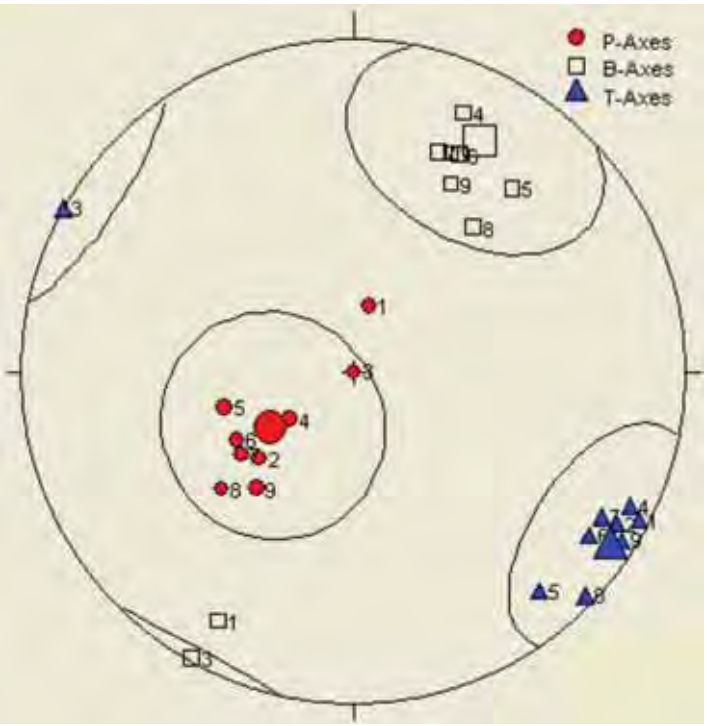

Figura 4. 28: Eixos do elipsóide de deformação para as falhas estriadas do Sistema Idália, onde o eixo P corresponde ao eixo de maior encurtamento, correspondendo a σ_1 e o eixo T corresponde ao eixo de maior estiramento correspondendo a σ_3.

Esta compressão subvertical indicada corrobora e ilustra as observações de campo para este sistema caracterizado como de falhas essencialmente normais.

4.4 – Modelo Tectônico.

Com os dados obtidos em campo e as análises de laboratório foi possível gerar um modelo evolutivo das estruturas da área que permite sintetizar os acontecimentos tectônicos que afetaram o local de estudo.

Após a deposição das diversas unidades já descritas anteriormente no capítulo 3, possivelmente em ambiente subáreo, iniciam-se os registros de movimentação tectônica na área de estudo.

O primeiro evento tectônico identificado na área foi responsável pela geração da família de fraturas NW, cuja atitude média é em torno de N60W/70SW (Figura 4.9).

Com as observações de campo e as medidas de estrias e sentido de movimento coletados deste sistema de fraturas, foi possível posicionar o elipsóide de deformação da área com o auxilio dos programas TectonicsFP e FaultKin, cujos eixos de maior encurtamento e maior estiramento são representados por σ_1 e σ_3 respectivamente (Figura 4.29). A posição dos eixos de paleotensão, indicada pelas falhas e fraturas mostra um sistema de falhas direcional sinistral, que coloca os Domínios Sul-Sudeste (DSSE) e Leste (DE) e lado a lado.

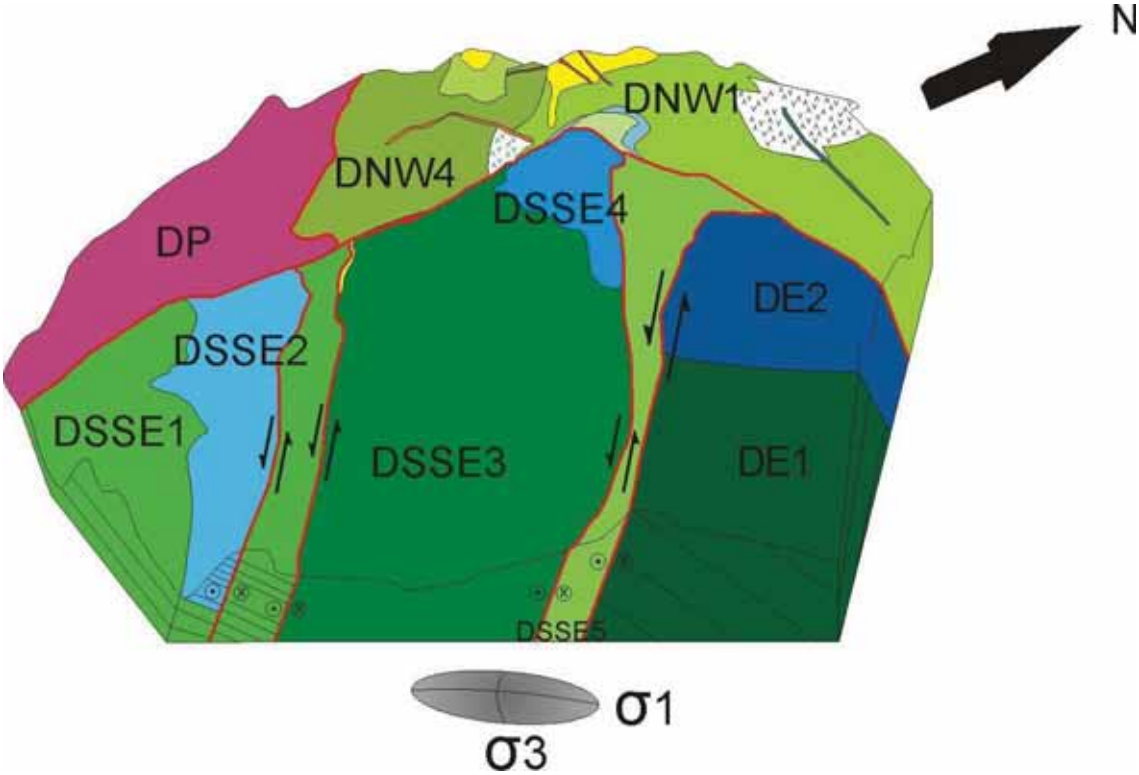

Figura 4. 29: Bloco diagrama mostrando o sentido de movimento das falhas NW e a movimentação dos blocos, o elipsóide representa a posição do sigma 1 (σ1) e sigma 3 (σ3).

Como segundo evento tectônico registrado na área de estudo, é possível observar falhas de direção NE, que cortam as falhas de direção NW, e, portanto, são posteriores as mesmas. As direções preferenciais para as fraturas deste segundo evento são N60E/84NW e N60E/84SE (figura 4.14).

Com as medidas de estrias e sentido de movimento coletados em campo foi possível posicionar o elipsóide de deformação para tal sistema de fraturas, onde os eixos de maior estiramento e encurtamento são representados por σ_1 e σ_3 respectivamente na figura 4.30. A posição dos eixos do elipsóide de deformação indica um sistema de falhas normal.

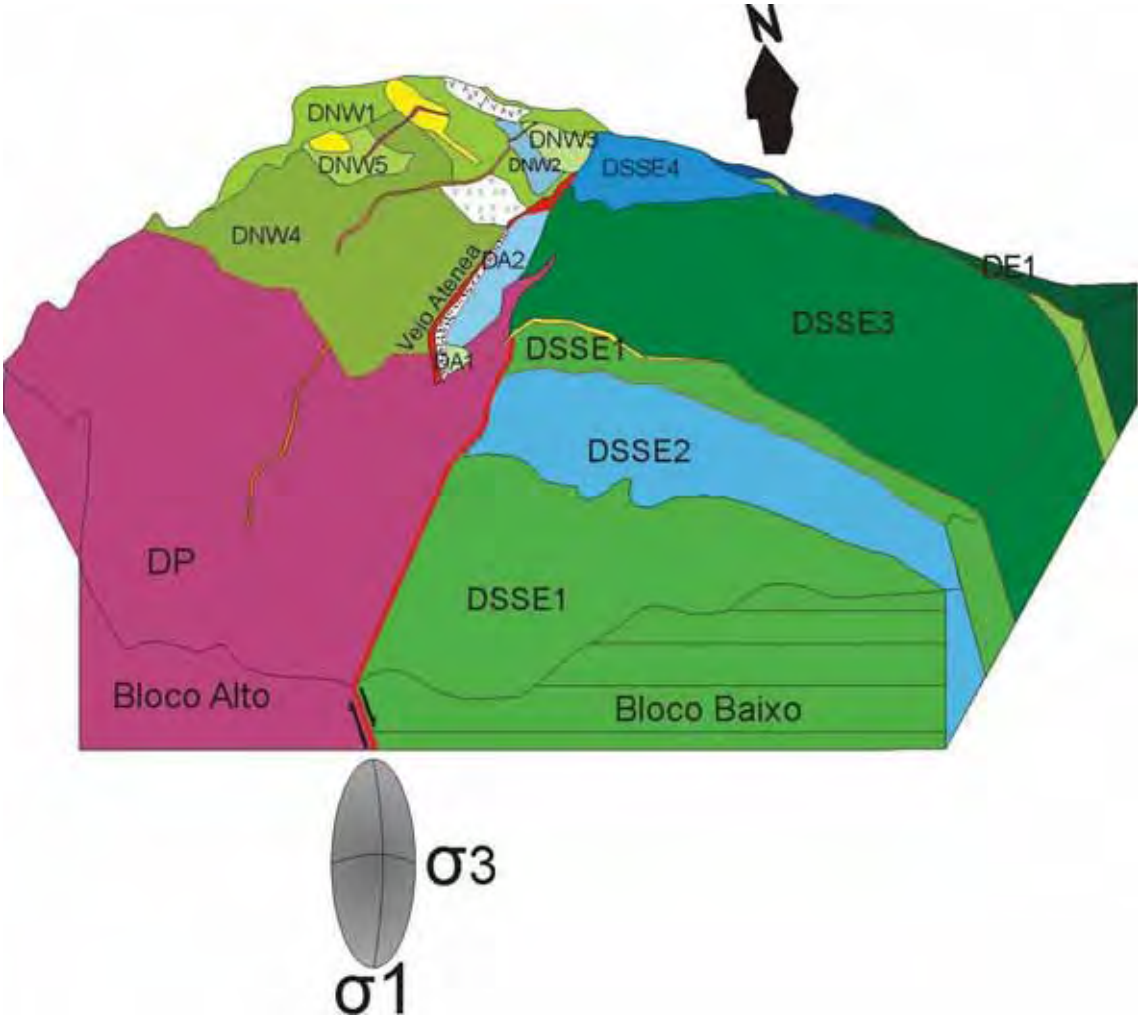

Figura 4. 30: Bloco diagrama ilustrando o sentido de movimento das falhas da família NE e a movimentação dos blocos. O elipsóide representa a posição do sigma 1 (σ1) e sigma 3 (σ3).

Como último evento tectônico registrado na área, ocorre a família de fraturas E-W, que possuem menor expressão sendo fraturas menos contínuas e sua importância em termos econômicos ainda é discutível.

Este conjunto não foi analisado para paleo-tensão devido ao baixo número de medidas obtidas em campo, sendo que é uma família de fraturas composta principalmente por juntas e quando há falhas as mesmas não possuem muitos registros de movimentação ou estes registros não são muito claros.

Contudo, com os poucos dados obtidos de movimentação desta família de fraturas, é possível dizer que se refere a um conjunto de fraturas de caráter distensivo cujas falhas possuem caráter preferencialmente de mergulho do tipo normal com direção preferencial é N88E/78NW (figura 4.17).

4.5 – Discussão dos modelos propostos para a área.

No início dos trabalhos, o modelo tectônico aceito anteriormente, era que o sistema de falhas sinistrais NW (Sistema Pucamina) era o principal, sendo o sistema Atenea era interpretado como fraturas de extensão cogenéticas ao cisalhamento sinistral, onde neste caso a inflexão do veio na porção nordeste estaria relacionada a forma sigmoidal típica dos *"tension gashes".*

Contudo, após os trabalhos de campo realizados na área, os dados coletados não sustentam este modelo, pois:

1 – Caso o veio correspondesse a um regime distensivo local associado a movimentação sinistral NW, seria esperado que as fraturas fossem espacialmente sub-perpendiculares às estrias do sistema transcorrente.

2 – A orientação do segmento principal do veio Atenea é sub-perpendicular ao sistema Pucamina, neste caso para corresponder a um *tension gashe* deveria ter rotacionado cerca de 45°, implicando em certa quantidade de deformação dúctil nas encaixantes, que deveria ser percebida e se manifestar em forma de dobras escalonadas, afetando o acamamento (sub-horizontal). Tais estruturas não são reconhecidas.

3 – Observa-se sistematicamente, tanto em mapa quanto em afloramento, as fraturas NE cortam o sistema Pucamina (NW).

Estes argumentos sugerem que o modelo de contemporaneidade no desenvolvimento dos Sistemas Pucamina e Atenea não se sustenta,sendo que estes mesmos sistemas representam eventos tectônicos distintos.

5 – Conclusões.

Com o mapeamento geológico-estrutural realizado na área de Invicta, região de Paran – Peru, foi possível gerar um mapa geológico onde foram individualizadas diversas unidades, a partir de uma divisão criteriosa das rochas encontradas, que permitiram revelar um complexo quadro estrutural com diversas falhas.

O diorito presente na porção oeste da área faz contato tectônico com as unidades vulcânicas adjacentes. Desta forma não foi possível estabelecer, nesta área, a relação temporal entre estas unidades. Admitindo-se como correta a correlação do diorito com o Batólito Costeiro e a das vulcânicas adjacentes ao Supergrupo Calipuy, não se pode dizer com certeza qual unidade é mais antiga, haja visto que os dados bibliográficos são muito escassos.

O mapeamento de superfície da área confirma a existência de três sistemas de falhas associados a veios mineralizados, NW, NE e E-W, sendo o de direção E-W mais jovem e com menores teores de mineralização.

Com a análise cinemática foi possível definir, estatisticamente, que os eixos de maior e menor tensão para a família de falhas de direção NW possuem direções E-W e N-S, respectivamente, com caimentos de baixo ângulo. Indica assim, um esforço principal sub-horizontal, de direção aproximadamente E-W, coerente com o campo de tensão responsável pela estruturação dos Andes nesta região.

Para a família de fraturas com direção NE, os esforços principais indicam um eixo de maior tensão subvertical, e o de menor tensão subhorizontal para SE, o que gera um arranjo tectônico favorável à formação de falhas normais.

Para a família de falhas E-W, os poucos indicadores cinemáticos observados no campo indicam caráter normal.

A mineralização está associada essencialmente aos diversos fraturamentos, formando veios de quartzo associados a sulfetos, epidoto, ferro e carbonato.

Os dois principais veios mineralizados, Pucamina e Atenea, são associados à dois eventos tectônicos distintos.

6 – Bibliografia.

ALLMENDINGER R W. FaultKin Version 1.1 a program for analyzing fault slip data for Windows™ computers.

BISSING, T.; ULLRICH, T. D.; TOSDAL, R. M.; FRIEDMAN, R.; EBERT, S.; The time-space distribution of Eocene to Miocene magmatism in the central Peruvian polymetallic province and its metallogenetic implications. Journal of South American earth Sciences 26 p.16-35, 2008 .

CLAUDOUHOS T. T, ALLMENDINGER R. W. Finite strain and rotation from fault-slip data.

COBBING, J.; PITCHER W. S., 1979. El batolito costanero en la parte central del Perú. Boletín Nº7. Instituto Geologico Minero y Metalurgico.

COBBING, J.; The segmented Coastal Batholith of Peru: its relationship to volcanicity and metallogenesis. Earth Science Reviews 18, p. 241-251, 1982.

HAEDERLE M., ATHERTON M. P. Shape and intrusion style of the Coastal Batholith, Peru. Tectonophysics 345 (2002) 17–28

HIBBARD, M. J., Petrology to Petrogenesis, New Jersey, 1995.

HOLLISTER V.F., E. SIRVAS B. The Calipuy Formation of northern Peru, and its relation to volcanism in the northern Andes. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 4 (1978) 89-98.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMMET). Mapa Tecónico del Perú, Escala 1:6.000.000, Version Digital 1999.

INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMMET). Mapa Geológico del Perú, Escala 1:1.000.000, Fuente: Dirección de Información y Promoción, Version Digital 2000.

JAILLARD, E.; SOLER, P.; 1996. Cretaceous to early paleogene tectonic evolution of the northern central Andes (0-18ºS) and its relations to geodynamics. Tectonophisics 259, 41-53.

JARAMILLO V., Relatório interna da empresa Andean Exploration 2006.

MARRETT, R. A., ALLMENDINGER R. W., Kinematic analysis of fault-slip data, Journal of Structural Geology, 1990.

PARDO-CASAS, F.; MOLNAR, P., 1987 Relative motion of the nazca (farallon) and south american plates since late cretaceous time, Tectonics, vol. 6, n. 3, pages 233-248, 1987.

QUISPE, J.; CARLOTTO, V.; MACHARÉ, J.; CHIRIF, H.; ROMERO, D.; ACOSTA, J.; RIVERA, R.; SÁNCHEZ, V.; VELARDE, T. INGEMMET prepara nuevo mapa metalogenético, Escala 1:1.000.000, 2000.

RAIBOW, A.; CLARK, A. H.; KYSER, K.; GABOURY, F.; HODGSON, C. J. 2005. The Pierina epithermal Au-Ag deposit, Ancash, Peru:paragenetic relationship, alunite textures, and stable-isotope geochemistry. Chemical Geology, 215, 235-252.

RAMOS, V. A.; CRISTALLINI, E. O.; PÉREZ, D. J. 2002. The pampean flat-slab of the central Andes. Journal of South American Earth Science, 15, 59 -78.

SIBSON, R. H., 1989. Faulting and Fluid Flow: Field evidence and models. In Earthquake Prediction: an International Review (D.W. Simpson & P.G. Richards, eds.) Am. Geophysical Union. Mon., Maurice Swing Series 4. pages 93-129.

SIBSON, R. H., 1989. Faulting and Fluid Flow: Field evidence and models. In Earthquake Prediction: an International Review (D.W. Simpson & P.G. Richards, eds.) Am. Geophysical Union. Mon., Maurice Swing Series 4. pages 93-129.

van HUNEN, J.; van den Berg, A. P.; Vlaar, N. J. 2002. On the role of subducting oceanic plateaus in the developmente of shallow flat subduction. Tectonophisics 352, 317-333.

WETZELL, J. S. C.; 1982. Informe del Mapa Tectonico del Peru.

WILSON, J. J.; Structural Development of the Northern Andes of Peru X Congresso Peruano de Geologia, Resumenes, Sociedad Geologica del Peru, Lima 2000.

WISE, J. M.; NOBLE, D. C.; ZANETTI, K. A.; SPELL, T. L. 2008. Quechua II contraction in the Ayacucho intermontane basin: Evidence for rapid and episodic Neogene deformation in the Andes of Central Perú. Journal of South American Earth Science, 26, 383-396.