

ANÁLISE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO DE AU E CU DA REGIÃO DE PARAN, PERU

Wagner Roberto Hansted POCA¹, Luiz Sergio Amarante SIMÕES²

- (1) Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/ campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: wrhpocay@gmail.com
- (2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista/ campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. Caixa Postal 178. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: lsimoes@rc.unesp.br.

- Introdução
- Contexto Geológico Regional
- Litotipos e Estratigrafia
 - Domínio Sul-Sudeste (DSSE)
 - Domínio Leste (DE)
 - Domínio Noroeste (DNW)
 - Domínio Atenea (DA)
 - Domínio Plutonico (DP)
 - Veios hidrotermais e regiões intensamente silicificadas
- Geologia Estrutural
 - Estratificação Primária
 - Falhas e Fraturas
 - Família de fraturas NW
 - Família de fraturas NE
 - Família de fraturas E-W
- Dados de Paleo-esforço
 - Paleo-esforço falha NW
 - Paleo-esforço falha NE central
 - Paleo-esforço falha NE no Domínio Plutonico
 - Discussão sobre os resultados de Paleo-esforço
- Mineralização
- Conclusões
- Agradecimentos
- Referências Bibliográficas

RESUMO - Na região de Paran, província de Huaura-Peru, ocorre um depósito de Au e Cu, com caráter epitermal de média a baixa sulfetação. A área foi objeto de estudo geológico-estrutural, onde foram mapeadas as rochas aflorantes em escala 1:5.000. São representadas essencialmente por seqüências vulcânicas intermediárias cenozóicas do Supergrupo Calipuy e por um diorito relacionado ao Batólito Costeiro, de idade cretácea. São identificados cinco domínios litoestruturais, sendo quatro constituídos por seqüências de lava, tufo e brechas andesíticas do Supergrupo Calipuy e um pelo diorito. A área se encontra fortemente tectonizada em regime rúptil, tendo sido identificados três sistemas principais de fraturas que foram investigados detalhadamente para caracterização cinemática. O sistema NW, com mergulhos íngrimes predominantemente para SW, é o mais antigo e limita os principais domínios litoestruturais. O sistema NE possui mergulhos em torno de 60° para SE. O sistema mais novo tem direção E-W, com mergulhos em torno de 80° para S. Os três sistemas são mineralizados, sendo que os dois primeiros são mais importantes em teores e volume. O estudo de paleo-esforço indica que o primeiro evento está relacionado à tectônica compressiva andina, e os outros dois eventos refletem processos extensionais.

Palavras-chave: Análise Estrutural, Paleo-esforço, Caracterização Estrutural.

ABSTRACT - W. R. H. POCA¹, L. S. A. SIMÕES. Structural Analysis of the deposit of Au and Cu in Paran's region, Peru. This region located in the Huaura province, in central Peru, presents a deposit of gold and copper, with low to medium sulphidation of epithermal character. The area was subject to geological-structural studies, was mapped in 1:5.000 scale. They are represented mainly by intermediate volcanics sequence from Cenozoic age of Calipuy Supergroup and a diorite related to the Coastal Batholith, of Cretaceous age. It was identified five litho-structural areas, four of that consist by lava flow, tuff and andesitic breccias of Calipuy Supergroup and one by the diorite. The area is located in a strong tectonized region into the rüptil regime, which have been identified three main fractures systems investigated in detail for kinematic characterization. The NW system, with steep dip to SW is the oldest and limits the main litho-structural domains. The NE system has dip around 60° to SE. The younger system has E-W direction, with dips around 80° to S. The three systems are mineralized, the first and the second are the most important in volume and ore grade. The study of paleo-stress indicate which the first event is related to the compressive Andean tectonic, and the others two events reflect extensional processes.

Keywords: Structural Analysis, Paleo-stress, Structural Characterization.

INTRODUÇÃO

O cinturão andino é uma típica zona de convergência de placas com um arco magmático bem desenvolvido responsável pela formação de depósitos minerais. Na região central dos Andes, o Peru destaca-se com cerca de 8,4% da produção mundial de ouro (Dill 2010). A importância destes jazimentos tem se tornado mais expressiva com a investigação de novos depósitos em fase de prospecção ou já em implantação. Entretanto ainda são poucos os estudos de detalhe realizados nestes depósitos.

O trabalho aqui apresentado visa a caracterização geológica de um depósito de Au, Cu e Pb, localizado nos Andes centrais, no domínio da cordilheira Andina Ocidental, que é caracterizada por lineamentos estruturais de direção preferencial NNE, formados em resposta ao esforço principal de direção E-W relacionado à orogênese andina.

Este trabalho trata da caracterização estrutural e litológica do depósito Invicta, localizado na região do Peru central, cerca de

250km a norte de Lima, capital peruana, próximo às comunidades de Paran e Lacsanga.

É um depósito 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 seqüências de andesitos e tufos andesíticos, pertencentes ao Supergrupo Calipuy e em diorito do Batólito Costeiro Peruano.

O trabalho contou com o apoio logístico da empresa Invicta Mining Corporation para a realização dos levantamentos de campo.

Ao início dos trabalhos havia um mapa preliminar onde se encontravam apenas três unidades litológicas, andesitos, brechas vulcânicas e o diorito. Com o mapeamento detalhado foi possível individualizar e diferenciar melhor as diversas unidades andesíticas e brechas vulcânicas, bem como caracterizar a cinemática dos principais sistemas de falhas reconhecidos na área.

CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Do ponto de vista geotectônico a área se insere em um ambiente convergente, 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 (van Hunen, 2002; Ramos et al., 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 et al., 2002), sendo assim desde Steinmann (1929) considerou-se que houve poucas fases deformacionais na cadeia andina devido à escassez de dados estruturais (Pardo-Casas e Molnar, 1987). Porém, segundo Jaillard e Soler (1996), a evolução tectônica da Cadeia de Montanhas dos Andes no Cretáceo, época em que a subducção não era do tipo flat slab, governada por compressão de oeste para leste,

possui 4 importantes fases deformacionais.

A maioria dos autores considera que houve uma contração contínua durante a evolução andina, porém em escala local são identificados vários eventos deformacionais episódicos caracterizados por pequenos pulsos de contração separados por quiescência tectônica ou colapsos extensionais do orógeno (Wise et al., 2008).

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

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 predominantemente andesítica (Cobbing, 1982), considerada o grande divisor de águas do Peru,

dividindo as águas que correm para o Pacífico e as águas que correm para o Atlântico (Wetzell, 1982).

Quanto ao contexto essencialmente geológico, a Cordilheira Ocidental apresenta associações vulcânicas do Grupo Casma, do Grupo Goyllarisquizga e do Supergrupo Calipuy (Cobbing, 1982; Bissig et al., 2008), parte das quais são as encaixantes das rochas intrusivas do Batólito Costeiro (Figura 01).

As rochas vulcânicas do Grupo Casma são compostas por andesitos maciços e rochas piroclásticas epidotizadas, depositadas em ambiente subaquoso de “back arc”, datadas do Eo-Cretáceo (Bissig et al., 2008) (Figura 01).

O Grupo Goyllarisquizga, do Meso-Cretáceo (Bissig et al., 2008), ocorre na porção Leste da Cordilheira Ocidental, composto por rochas sedimentares de ambiente predominantemente

marinho plataformal, composto por calcário com leve aporte de sedimentos siliciclásticos. Estas rochas apresentam leves deformações, como fraturamento e dobramento, e são encaixantes de veios de metais base e depósitos de remobilização na porção centro-leste do Peru (Jaramillo, 2006).

As rochas vulcânicas do Supergrupo Calipuy são datadas do cenozóico (Hollister et al., 1978, Bissig et al., 2008), compostas essencialmente (80%) de vulcânicas de ambientes continentais, constituídas 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 uma seção estratigráfica desta unidade (Hollister et al., 1978).

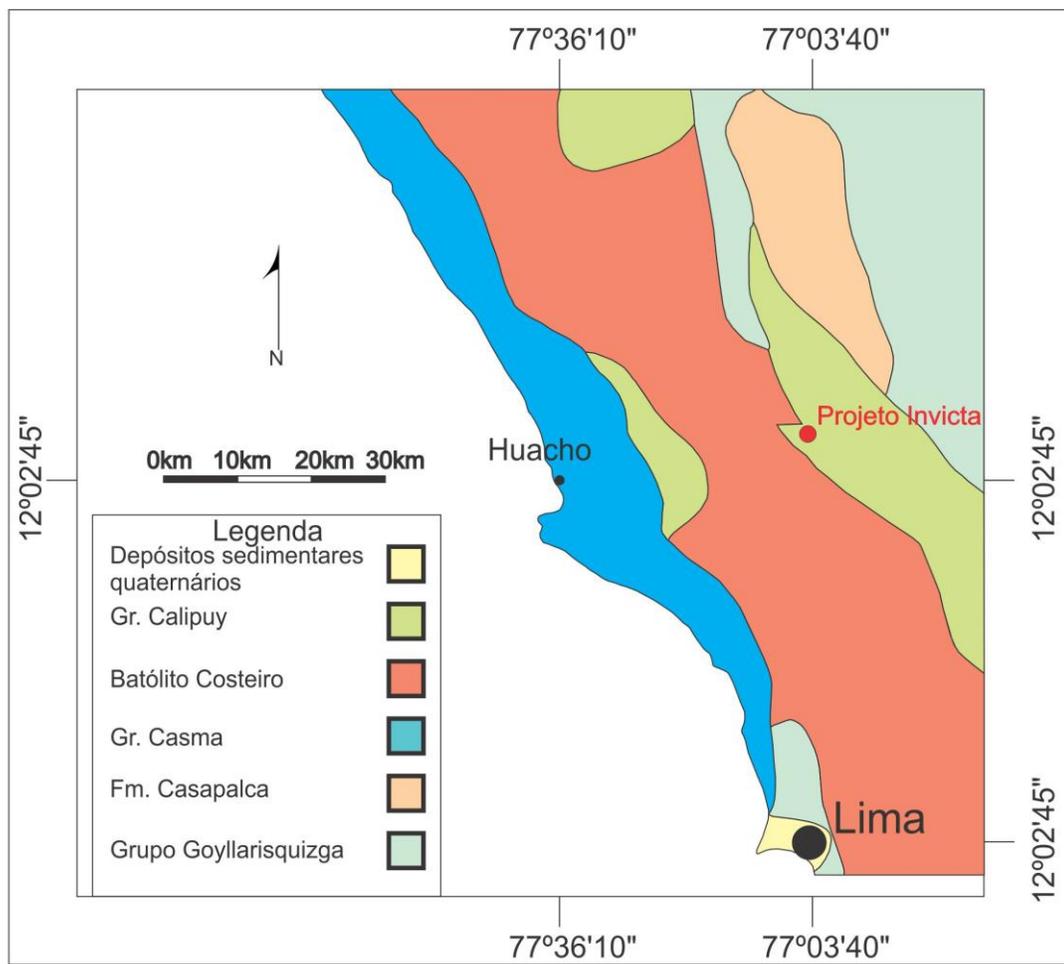


Figura 01: Contexto Geológico da Cordilheira Andina Ocidental Peruana e localização do projeto Invicta (modificado de Jaramillo 2006).

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 et al., 2008). Em discordância sobre o Grupo Choruro, está depositado o Grupo Huaraz, datado do Oligoceno–Mioceno e constituído de tufos de cinza e fluxos andesíticos com intrusões de stocks de dacito a granodiorito (Rainbow et al., 2005).

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

1600km (Haederle et al., 2002). O complexo de plutons mais próximo ao Projeto Invicta é o complexo de Huaura, composto de tonalitos, granodioritos e dioritos. A idade do Batólito Costeiro é Cretáceo Inferior a Superior (Cobbing, 1973 segundo Jaramillo, 2006).

Quanto ao contexto tectônico, a tectônica Andina gera lineamentos de direções principais N55°, N110° e N130° representados 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 e direcionais em toda a extensão próxima à costa do Peru. A área se encaixa na província tectônica Cinturão de Dobramentos da Cordilheira Ocidental definida por Wilson (2000), que é uma zona afetada por dobramentos e falhamentos.

LITOTIPOS E ESTRATIGRAFIA

Os principais litotipos encontrados na área são rochas vulcânicas de composição andesítica, incluindo derrames, tufos e brechas que foram divididos em várias unidades. Estas rochas são atribuídas ao Supergurpo Calipuy. Além destas unidades vulcânicas, ocorre uma unidade plutônica de composição diorítica interpretada como pertencente ao Batólito Costeiro Peruano.

O mapeamento de detalhe revela a existência de dois sistemas de falha que foram utilizadas para separar cinco domínios litoestruturais, uma vez que a estratigrafia detalhada da área não é conhecida e, devido à ausência de camadas guias, a divisão em diversos domínios se fez necessária para avaliar as possibilidades de

correlação entre as unidades em cada bloco de falha. Sendo assim tem-se os seguintes domínios (Figura 02): Domínio Sul-Sudeste (DSSE) constituído por cinco unidades, o Domínio Leste (DE) constituído por duas unidades, o Domínio Noroeste (DNW), que é composto por 10 unidades, o Domínio Atenea (DA) que apresenta três unidades e o Domínio Plutônico (DP) que corresponde a uma única unidade.

Com esta subdivisão, a descrição litológica das unidades se dará seguindo a seqüência de domínios de sul para norte e de acordo com a ordem estratigráficas de cada domínio, sendo que o Domínio Plutônico será o último a ser descrito.

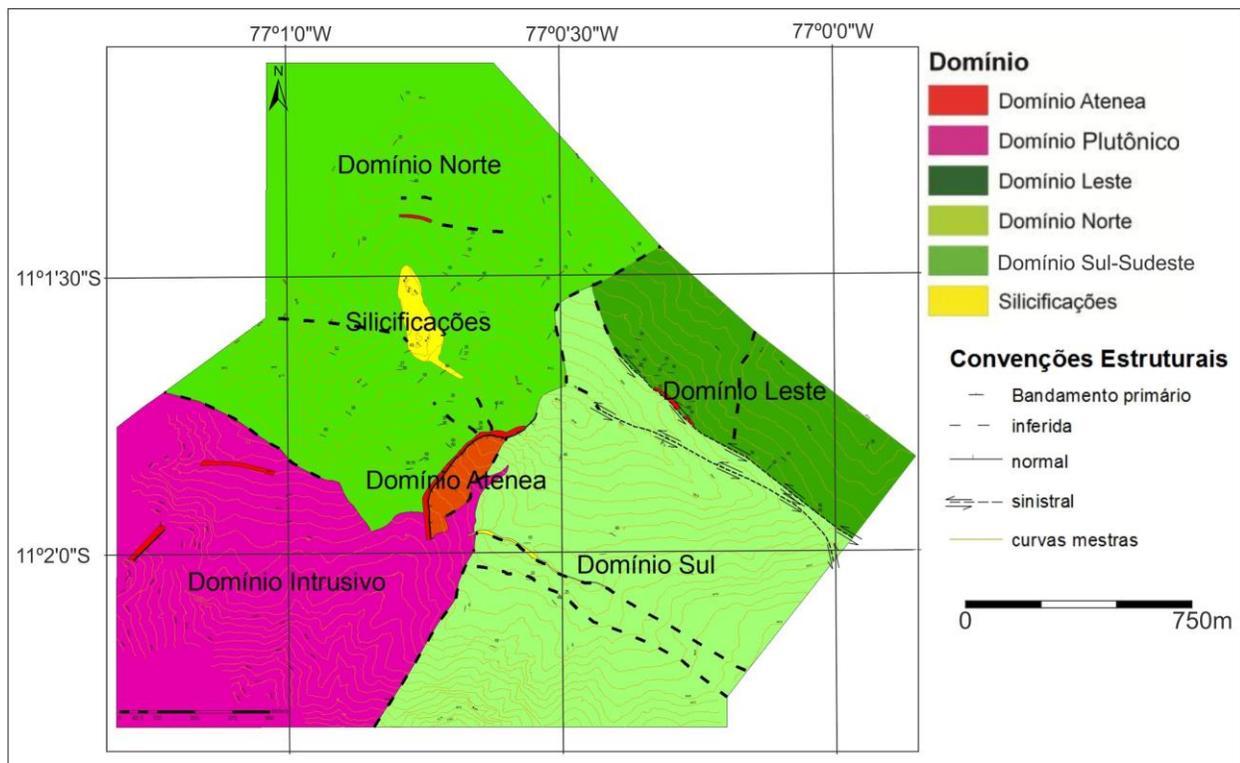


Figura 02: Mapa ilustrando os domínios estratigráficos.

Domínio Sul-Sudeste (DSSE)

O DSSE é composto por 3 unidades de derrames andesíticos e duas unidades de tufos e brechas, também andesíticas.

Os andesitos são muito parecidos entre si, sendo geralmente de coloração esverdeada, e cor de alteração vinho a roxo. Apresentam matriz fina a muito fina, onde em microscópio pode-se reconhecer pequenos cristais idiomórficos e fenocristais de plagioclásio com comprimento maior variando de 2 a 3 mm.

O que os diferencia é principalmente a quantidade e tamanho dos fenocristais de plagioclásio em cada unidade andesítica e a presença ou ausência de estratificação primária e ou estrutura de fluxo.

Das outras duas unidades, uma é composta por sequências de tufos e brechas de coloração roxa, com fragmentos que variam de milimétrico a 40 cm e formas ovaladas a sub-arredondadas, com estratificação primária com atitude N25E/10SE. A outra unidade é uma brecha de cor vermelho-clara com fragmentos predominantemente maiores que 6 cm, não apresentando estratificação primária e mais resistente devido à silicificação.

O contato entre o DSSE e o DE é tectônico, com direção preferencial N60W/70SW, cujo caráter é direcional sinistral. Esta estrutura hospeda um veio de quartzo de grande importância para a área com espessura variando de 3 a 5 metros e comprimento de 180 metros, formado por quartzo e sulfetos (pirita, calcopirita, esfalerita e galena), além de teores em ouro e prata.

Domínio Leste (DE)

Este domínio se localiza na porção leste da área mapeada, sendo constituído por duas unidades, uma sequência de derrames andesíticos e um pacote de brecha vulcânica.

A unidade de lavas andesíticas é caracterizada por cor verde, forte estratificação primária com bandas medindo até 40cm, com fenocristais de plagioclásio com até 4 mm e também cristais de piroxênio com até 2 mm de comprimento. Geralmente esta unidade apresenta vênulas de calcita ao longo de fraturas de espessura milimétrica.

A unidade composta pela brecha vulcânica também é fortemente bandada com atitude preferencial N83W/35NE, com camadas

compostas por matriz fina a muito fina e fragmentos variando em sua maioria de 6 a 30 cm, alcançando localmente 1 metro. A coloração destas rochas varia de verde-clara a roxa.

Além de fazer contato com o DSSE, este domínio também faz contato com o Domínio Noroeste (DNW), considerado como contato tectônico devido à diferença de litologias em mesma cota que ocorrem ao longo do contato. Este contato segue a mesma direção da principal estrutura NE da área, que será discutida adiante.

Domínio Noroeste (DNW)

Neste domínio são encontradas quatro unidades de lava andesítica, três unidades de sequências de tufos e brechas e três unidades de diques posteriores.

Os andesitos reconhecidos neste domínio se diferenciam entre eles pelo tipo de fenocristais que apresentam e pela presença de amígdalas, além da presença ou ausência de estratificação primária. Os fenocristais destes andesitos variam de 1mm a 4mm, em algumas das unidades ocorrem amígdalas preenchidas por clorita e carbonato. Nas porções próximas às estruturas mais importantes ocorre forte hidrotermalismo caracterizado por epidotização, silicificação e por vezes sulfetação.

Há unidades andesíticas deste domínio que possuem veios pouco expressivos de quartzo, ricos em galena e por vezes ricos em malaquita. Estas ocorrências foram registradas na porção mais noroeste da área.

A estratificação primária dos andesitos deste domínio possui direção ENE mergulhando até 20 graus para noroeste, porém nas proximidades de falhas, esta estratificação primária está perturbada chegando a ter mergulhos com até 70° para sudeste.

As três unidades compostas por tufos e brechas variam em coloração, de roxa até verde-clara. A composição é andesítica com fragmentos variando de 6 a 50 cm, sendo que a brecha mais representativa ocorre com boas exposições na porção norte da área.

Mostram forte estratificação primária, com

média em torno de N80W/30NE, com espessura dos estratos variando muito entre as unidades, de 30 cm em algumas a até 3 metros em outras.

Cortando estas unidades andesíticas e de brechas e tufos, ocorrem três tipos de diques que seguem direção preferencial NE. O sistema de diques mais a norte é composto por andesito porfirítico onde são encontrados fenocristais de plagioclásio e piroxênio com até 5mm de comprimento maior. Um pouco mais a sul ocorre um dique composto por diorito, onde são reconhecidos alguns fenocristais de plagioclásio e piroxênio envoltos em matriz fanerítica. Por fim, mais a sul ocorrem diques de riolito cuja coloração é branca, muito fino e em seus contatos apresentam sulfetação, representada principalmente por pirlita.

O contato do DNW com os outros domínios é feito por meio de falhas. A principal estrutura encontrada é a falha de direção NE que separa o DNW do DA, pois encaixa o principal veio mineralizado da área.

Domínio Atenea (DA)

Este domínio se localiza no centro da área de estudo sendo constituído por 3 unidades, uma é representada por andesito de coloração roxa com matriz afanítica que envolve fenocristais de plagioclásio com até 2mm. Esta unidade é muito silicificada, ocorrendo muitos veios e vênulas de quartzo e algumas drusas.

Sobreposta ao andesito, em contato normal, ocorre uma brecha andesítica de coloração roxa, com fragmentos de até 15 cm, e sua estratificação primária tem atitude preferencial N50W/10NE.

A terceira unidade é uma brecha tectônica com direção NE que bordejando as duas unidades descritas anteriormente, em contato tectônico com elas. Esta brecha também é muito silicificada, possivelmente devido à proximidade com o principal veio de quartzo da área. Os fragmentos encontrados nesta brecha variam de centimétricos a até 4 metros, com composições andesítica e diorítica, sendo angulosos a arredondados. Ocorrem alguns poucos cristais de sulfetos, porém as principais feições de alteração são a silicificação e a

epidotização, que lhe confere uma coloração verde.

Domínio Plutônico (DP)

Este domínio ocorre na porção SW da área mapeada e é composto por um diorito de coloração verde escura, com fenocristais de plagioclásio que podem chegar a 1cm e fenocristais de piroxênio com até 3mm, envoltos em matriz fanerítica composta de piroxênio, plagioclásio e quartzo principalmente. Ocorrem algumas porções ricas em sulfetos nas porções mais próximas ao contato com os andesitos do Domínio DNW. Outra característica desta unidade é que à medida que se distancia do contato entre os demais domínios ocorre um aumento na granulação da matriz.

A ausência de xenólitos e apófises, juntamente com a disparidade de idades entre os domínios andesíticos, de tufos e brechas com o domínio plutônico diorítico, indica uma discordância entre as unidades que é verificada em campo com a presença de contato tectônico.

Apesar da área de estudo ser restrita, e com os dados obtidos em campo, este trabalho trata o contato entre as unidades vulcânicas e a unidade plutônica como tectônico.

Veios hidrotermais e regiões intensamente silicificadas

Ocorrem três sistemas de veios e uma região com intensa silicificação na área mapeada, sendo que os três sistemas de veios são encaixados nos três principais sistemas de fraturas encontrados.

Há dois veios importantes na direção NW,

sendo um no contato entre as unidades DSSE1 e DSSE3, com espessura variando de 3 a 5 metros e comprimento aproximado de 500 metros. Este veio é composto quase que essencialmente por quartzo e não apresenta indícios de mineralização. O outro veio deste sistema se localiza no contato entre os domínios DSSE e DE, se estende por aproximadamente 180 metros e varia de 2 a 4 metros de espessura. Apresenta mineralogia composta de quartzo, pirita, galena, esfalerita, pouca calcopirita, e é mineralizado em ouro e prata.

Na direção NE também ocorrem dois veios principais, ambos mineralizados. Um deles ocorre principalmente na região central da área, no contato entre os domínios DNW e DA. Este veio possui 575 metros de comprimento e varia de 5 a 15 metros de espessura, sua mineralogia é composta por quartzo, epidoto, pirita, galena, especularita, calcopirita e esfalerita, com teores maiores que o veio de direção NW.

O segundo veio de direção NE ocorre dentro do DP, na porção SW da área, em uma região de difícil acesso. Possui espessura de 2 a 4 metros e aproximadamente 150 metros de extensão. Sua mineralogia é composta essencialmente por quartzo, pirita, galena e esfalerita.

De direção E-W ocorrem dois veios, um dentro do DP, cuja espessura não passa de 2 metros, constituído por quartzo, sulfetos de Fe e Pb e óxidos e hidróxidos de Fe. O outro veio desta família ocorre dentro do DNW, também tem espessura até 2 metros, e apresenta mesma mineralogia do veio descrito anteriormente. Este sistema é considerado de menor interesse devido ao baixo teor de ouro.

GEOLOGIA ESTRUTURAL

Na área estudada são encontrados dois conjuntos de estruturas, um de origem primária que corresponde à estratificação da rocha e outro de origem tectônica correspondendo a um sistema de fraturas (falhas e juntas) fortemente desenvolvido na área.

Estratificação primária

Esta feição apresenta-se principalmente nas

brechas e tufos, sendo que em alguns andesitos também é possível de ser reconhecida.

As estratificações são marcadas por descontinuidades planares subhorizontais relacionadas aos diversos pulsos de deposição de tufos e brechas ou aos eventos de derrames andesíticos.

No caso dos andesitos observa-se uma orientação marcada principalmente pela leve

orientação preferencial dos fenocristais, correspondendo predominantemente a uma estrutura de fluxo.

Nas brechas a estratificação é evidenciada pela variação granulométrica que em geral é abrupta (Figura 03).

Os planos de estratificação definem uma estrutura planar bem marcada com mergulho

geral de aproximadamente 32° para NNE (Figura 03A). Esta inclinação deve refletir o basculamento tectônico do conjunto originalmente subhorizontal. Entretanto, é possível que reflita a paleotopografia original do ambiente de deposição (possível domo andesítico).

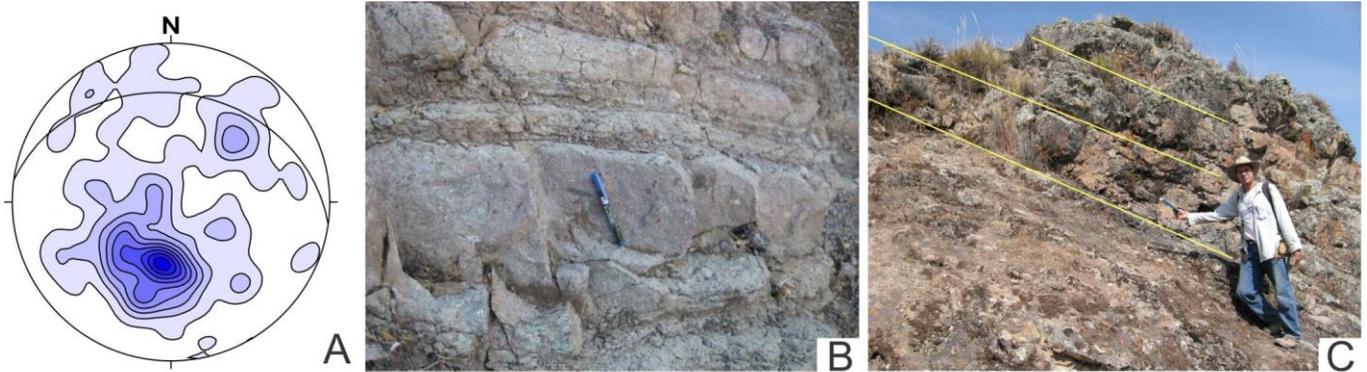


Figura 03: A) Esterograma de contornos das medidas de estratificação primária colhidas em campo. Número de medidas: 173. Máximo: N82W/32NE. B) Foto mostrando as camadas de brecha polimíticas com até 30 centímetros de espessura, ocorre uma fina camada de cinzas vulcânicas entre as camadas. C) Foto mostrando aleitamento dos derrames de andesito (unidade DE2).

Falhas e Fraturas

Com um levantamento estrutural detalhado que contou a um número de 1.040 medidas de fraturas, evidencia-se que a área encontra-se intensamente fraturada podendo-se identificar três famílias principais: NW, NE e E-W (Figura

04).

Embora cada orientação destas possa ser encontrada em qualquer parte da área estudada, tendem a ocorrer de forma concentrada definindo zonas de fratura de predomínio de uma das famílias.

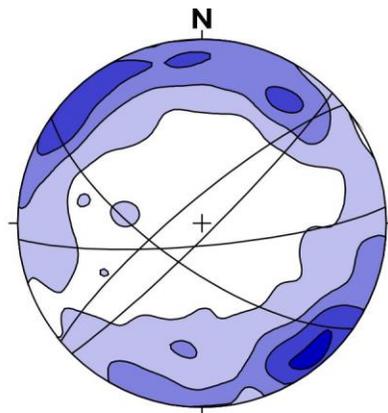


Figura 04: Esterograma de contorno das fraturas medidas em toda a área. Número de Medidas: 1040; Máximo: N50E/80NW, N45E/85SE, N55W/70SW, N85E/80SE.

Com o intuito de obter melhor resultado na caracterização de cada família de fratura foi usado um critério para separação, onde estipulou-se para a família E-W uma faixa de variação de 10°, tanto para NW quanto para NE (N80W a E-W e N80E a E-W). As demais fraturas foram atribuídas às famílias NW e NE de acordo com o quadrante que ocupavam.

Família de fraturas NW

Esta família de fraturas é considerada a mais antiga, visto que as demais cortam seus planos. Em geral são fraturas extensas constituídas por mais de um plano conformando zonas de falha de 30 a 50 centímetros.

Suas principais estruturas ocorrem na porção sul e leste, onde há três grandes falhas que truncam as unidades mapeadas (caso dos domínios DSSE e DE e as unidades DSSE1 e DSSE3).

Foram coletadas 324 medidas de fraturas e o estereograma da Figura 05 mostra que os planos pertencentes a esta família possuem atitude preferencial N60W/70SW. Há formação de veios de quartzo expressivos em duas zonas de fraturas desta família, sendo que o plano que limita os domínios DSSE e DE é mineralizado em ouro e prata, com presença de minerais ricos em zinco e chumbo.

Com os dados de indicadores cinemáticos coletados em campo, principalmente degraus e estrias de falha, foi possível definir que a movimentação dos blocos foi oblíqua com componente direcional, mais importante, sinistral e a de mergulho, normal. Geralmente as estrias apresentam baixo ângulo de caimento para SE (não passando dos 30°), enquanto que os degraus observados indicam movimento sinistral normal.

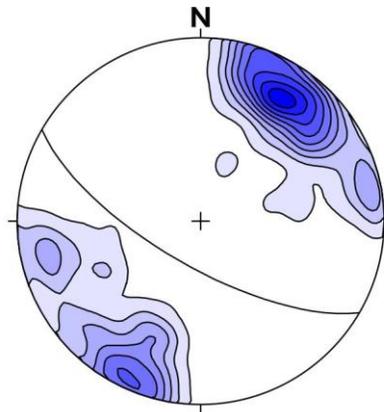


Figura 05: Estereograma de contorno da família de fraturas com direção NW. Número de medidas: 324, Máximo: N60W/70SW.

Família de fraturas NE

Esta família de fraturas corta a família NW, sendo assim considerada posterior àquela. Não se observam grandes deslocamentos das falhas NW cortadas pelas NE, porém não se observam fraturas NW cortando as fraturas NE.

Esta família é constituída tanto por falhas quanto por juntas, sendo que por vezes se observam veios e vênulas de quartzo. A

principal estrutura encontrada desta família está situada na porção central da área, dividindo a região Sul-Sudeste e a região Norte-Noroeste da mesma.

Foram coletadas 550 medidas de fraturas desta família e o estereograma da Figura 06 mostra que a atitude preferencial dos planos de fratura é N50E/80° a 85° mergulhando tanto para NW quanto para SE.

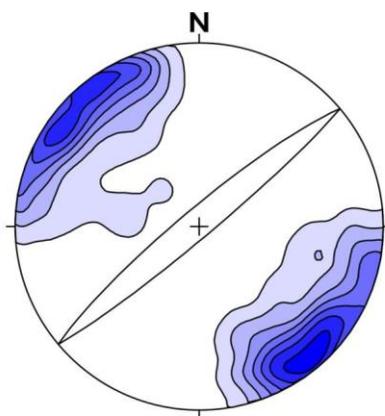


Figura 06: Estereograma de contorno da família de fraturas de direção NE. Número de Medidas: 550; Máximo: N50E/80NW, N50E/85SE.

Ao contrário da família descrita anteriormente (Família NW), que mostra pouca variação, a principal falha desta família apresenta grande variação de direção, tendo na porção sul atitude preferencial N54E/60SE (traço em amarelo na Figura 07), enquanto que na porção norte sua atitude preferencial se torna

N80W/85SW (traço em vermelho Figura 07). Esta falha principal encaixa um grande veio mineralizado, que varia de aproximadamente 15 metros em sua porção central e nas extremidades tanto norte quanto sul chega a ter menos de um metro.

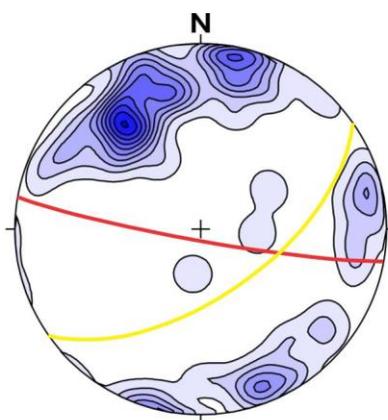


Figura 07: Estereograma de contorno das medidas da principal falha da família NE, mostrando variação na direção preferencial, com máximos em N54E/60SE na porção sul (traço amarelo) e N80W/85SW na porção norte (traço vermelho).

Outra falha desta família que também encaixa um veio mineralizado que varia de 1 a 4 metros, ocorre na porção mais sudoeste da área, dentro do Domínio Plutônico. São as duas principais feições estruturais desta família.

Os dados cinemáticos coletados em campo indicam que esta família possui caráter de falha

predominantemente normal.

Família de fraturas E-W

Esta família de fraturas é considerada a última a afetar a área em estudo, já que corta as outras duas famílias de fraturas reconhecidas.

Ao contrário das duas famílias supracitadas

esta família de fraturas forma juntas e pequenos planos de falhas isolados menos expressivos, geralmente com no máximo 30 centímetros. Não há formação de grandes veios mineralizados, o que a torna menos importante para a mineralização.

São planos com pouca variação na direção, lisos a pouco rugosos muito raramente apresentando estrias de falha, o que dificultou em muito a caracterização cinemática desta

família.

Com as 166 medidas obtidas desta família de fratura foi possível gerar o estereograma da Figura 08 que mostra atitude preferencial N88E/78SE.

Em geral são planos lisos a poucos rugosos, sendo difícil de se encontrar estrias e degraus. Porém, os poucos dados cinemáticos coletados para esta família mostram caráter essencialmente de falha normal.

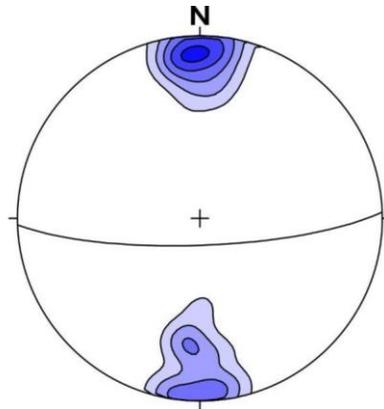


Figura 08: Estereograma de contorno da família de fraturas de direção E-W. Número de Medidas: 166; Máximo: N88E/78SE.

DADOS DE PALEO-ESFORÇO

Com os dados obtidos em campo para as três famílias de fraturas, foi possível verificar o paleo-esforço em duas das famílias, sendo que estes dados foram coletados essencialmente nas proximidades dos três principais veios mineralizados, um de direção NW e os outros dois com direção NE. Como não há números de medidas suficientes do sistema E-W, não há dados analisados para esta família de fraturas.

Para a realização destes estudos foram utilizados dois softwares, o FaultKinWin e o TectonicsFP. Ambos são alimentados com dados de direção e do plano de falha, direção e caimento da estria contida no plano, e sentido de movimento ao longo do plano.

Os dois programas utilizam várias matrizes e métodos de cálculo, como eigenvectors (Bingham 1964), inversão direta (Angelier 1979), NDA (Spang 1972), cálculo dos diedros retos (Angelier & Mechler 1977) e o cálculo

dos eixos PT (Turner 1953).

Diante do número reduzido de dados coletados o melhor resultado obtido foi pelo método de cálculo de eixos PT de Turner (1953), uma vez que ambos softwares apresentaram resultados muito semelhantes neste método.

Para tanto, as análises foram feitas individualmente para cada uma das famílias de falhas já citadas acima. Os resultados mostrados neste trabalho foram extraídos do TectonicsFP versão 1.6.4 Demo.

Paleo-Esforço falha NW

Para este conjunto de falhas foram coletadas 22 medidas completas (com plano e estria de falha), porém algumas fugiram um pouco do padrão principal da falha NW, que mergulha preferencialmente para SW. Sendo assim, foram isoladas as medidas condizentes com o

padrão principal da falha NW (Figura 09).

Os dados obtidos pelos cálculos efetuados pelos softwares geraram a Figura 10 que mostra o σ_1 , ou eixo de maior tensão, com direção

próximo à E-W e baixo ângulo de mergulho e o σ_3 , ou eixo de menor tensão, com direção próxima à N-S, condizente com os esforços principais da cordilheira andina.

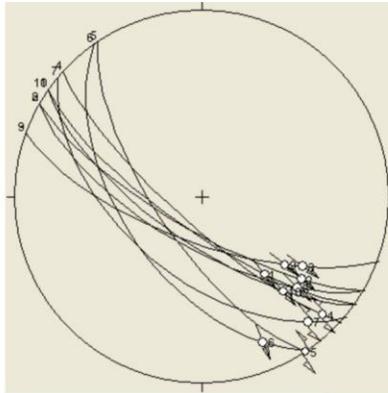


Figura 09: Estereograma de medidas dos planos de falha estriados de direção NW.

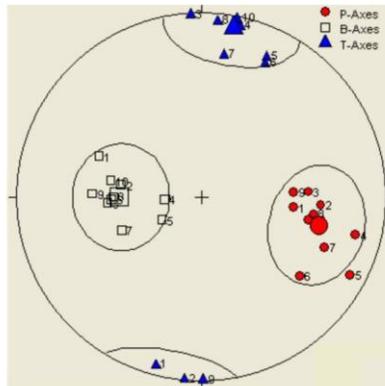


Figura 10: Figura mostrando os eixos de maior tensão (círculos vermelhos) e menor tensão (triângulos azuis). Os símbolos maiores representam a orientação preferencial de cada conjunto.

Paleo-Esforço falha NE central

Neste conjunto de falhas foram coletadas 23 medidas. Por possuir direção N40E na parte central e direção E-W na porção norte (Figura 11 A), estas medidas foram separadas em dois conjuntos (Figura 11 B, D).

Contudo, apesar das direções distintas, ambos os segmentos apresentam caráter cinemático parecidos, com eixo de maior esforço (σ_1) subvertical e o eixo de menor esforço (σ_3) subhorizontal, definindo um caráter normal (Figura 11 C, E).

Paleo-Esforço falha NE no Domínio

Plutônico.

Foram coletadas 11 medidas para esta falha, que possui direção preferencial NE com altos ângulos de mergulho (Figura 12A). Os resultados obtidos mostram que o eixo de maior esforço (σ_1) é subvertical e eixo de menor esforço (σ_3) é subhorizontal, caracterizando cinemática normal.

Discussão sobre os resultados de paleo-esforço

Considerando-se as relações de corte que indicam que as fraturas NW são anteriores às fraturas NE, e que os eixos de paleo-esforços

dos dois conjuntos são diferentes, a evolução estrutural da área mapeada pode ser descrita através das seguintes etapas:

- Primeiramente houve uma compressão de direção E-W subhorizontal, gerando as falhas de direção NW que reflete o padrão andino relacionado à convergência das placas.

- Em seguida ocorre redução ou quiescência dos esforços compressivos, pelo menos na região mapeada, dando lugar a um período de extensão registrado pelo sistema de falhas

normais de direção NE, com a intrusão de vários diques riolíticos e dioríticos. Esta interpretação é condizente com a proposta de Wise et.al. (2008).

Apesar dos poucos dados, o caráter normal para o sistema de fraturas E-W, indica continuidade do processo extensional, porém com o campo de esforço um pouco diferente, com direção N-S.

Estes dois períodos extensionais podem indicar um processo de colapso do orógeno.

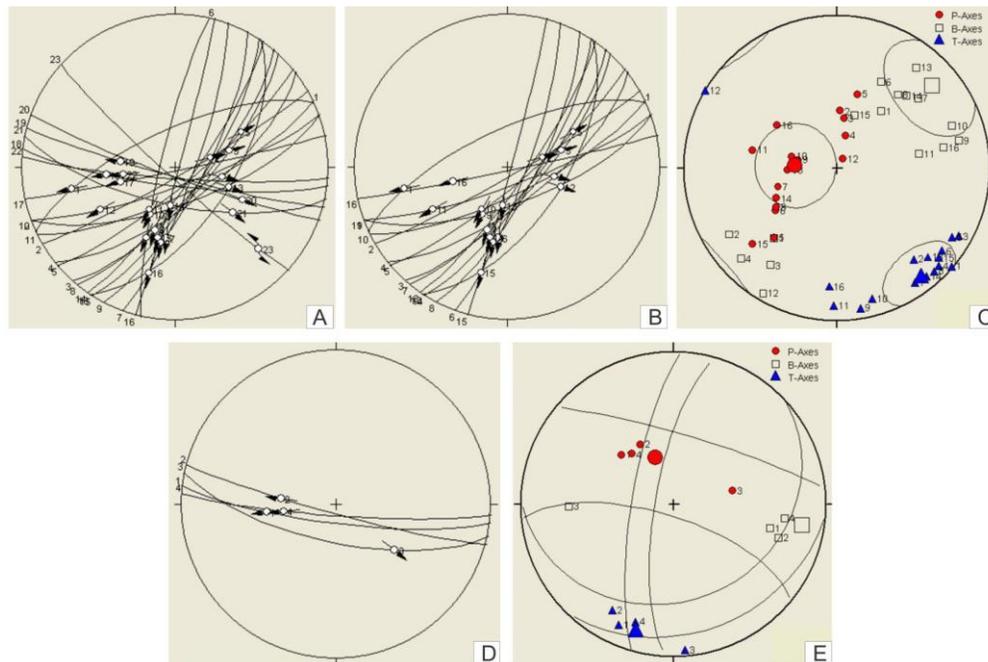


Figura 11: A) Estereograma mostrando as medidas da principal falha de direção NE. B) Estereograma de medidas com direção NE da principal falha. C) Figura mostrando eixos de maior tensão (círculos vermelhos) e menor tensão (triângulos azuis) extraídos dos dados da figura 9B. D) Estereograma das medidas de direção E-W pertencentes à principal falha com direção NE. E) Figura mostrando eixos de maior tensão (círculos vermelhos) e menor tensão (triângulos azuis) dos dados referentes à Figura 11D.

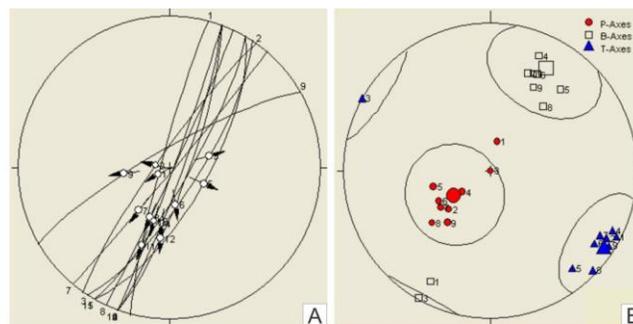


Figura 12: A) Estereograma das medidas da falha com direção NE hospedada no Domínio Plutônico. B) Figura mostrando os eixos de maior tensão (círculos vermelhos) e menor tensão (triângulos azuis).

MINERALIZAÇÃO

A mineralização da área está associada aos veios hidrotermais encaixados nas falhas principais, NW e NE, e, com menor expressão nas falhas E-W.

A mineralogia dos veios é simples, constituída principalmente por quartzo, epidoto, carbonato, pirita, calcopirita, esfalerita e galena, ocorrendo bornita em alguns casos e malaquita em veios posteriores.

Algumas vezes ocorre barita nos veios de direção NE, enquanto que nos veios NW a ocorrência de esfalerita é maior.

Informações de salinidade, pressão e temperatura dos fluidos mineralizantes poderão

ser adquiridos em estudos posteriores, podendo-se indicar se há diferenças entre os fluidos que mineralizaram as famílias de fraturas NE e NW.

Observa-se um halo de alteração reduzido ao redor dos veios, de caráter potássico, indicado pela sericitização parcial das encaixantes.

Estas feições podem evidenciar que a mineralização é de baixa temperatura, já que caso contrário, e considerando-se a reologia e a reatividades das rochas encaixantes, os halos de alteração seriam muito maiores no caso de altas temperaturas.

CONCLUSÕES

Com o mapeamento geológico de detalhe pôde-se melhorar o entendimento do complexo padrão estrutural local.

Foram identificadas três famílias de fratura em termo de caráter cinemático e temporal, sendo elas denominadas com suas respectivas direções preferenciais.

As fraturas NW foram as primeiras a se formarem, com caráter essencialmente direcionais, sinistrais indicando derivar de uma compressão principal aproximadamente E-W a ENE-WSW, coerente com a tectônica principal

dos Andes Central.

A família de fraturas NE estão em uma posição temporal posterior às fraturas de direção NW, possui cinemática normal, indicando acomodação de extensão de direção NW-SE.

A família de fraturas E-W possui cinemática normal, acomodando extensão N-S e foi o último evento de formação de fraturas no local.

Embora as três famílias de fraturas sejam mineralizadas, as famílias NW e NE, apresentam melhores teores e volumes.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à empresa Invicta Mining Corporation que deu apoio logístico no Peru, além de ceder a área para estudo. Ao geólogo Victor Lipa Salas, que conseguiu, por meio de seus contatos, colocar a equipe que realizou o trabalho e a empresa Invicta Mining Corp. em contato, e especialmente ao geólogo Dennin Thomás Quispe Arapa, que devido aos seus esforços, tornou possível perante à empresa a realização deste trabalho, além do acompanhamento em campo e às diversas discussões.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGELIER, J. Determination of the mean principal direction of stresses for a given fault population. *Tectonophysics*, 56, T17 - T26, 1979.
2. ANGELIER, J.; MECHLER, P., Sur une method graphique de recherché des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: La méthode des dièdres driots. *Bulletin de la Societé Géologique de France* 7, p. 1309 – 1318, 1977.
3. BINGHAM, C.. Distributions on the sphere and the

- projective plane. PhD Thesis, Yale University, New Haven, CT, p. 93, 1964.
4. BISSIG, 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.
5. COBBING, J.; The segmented Coastal Batholith of Peru: its relationship to volcanicity and metallogenesis. *Earth*

Science Reviews 18, p. 241 – 251, 1982.

6. DILL, H. G.; The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Earth Science Review 100, p. 1 – 420, 2010.

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

8. 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, p. 89 – 98, 1978

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

10. JARAMILLO, V.; Relatório interno da empresa Andean Exploration. p. 0 - 89, 2006.

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

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

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

14. SPANG, J. H., Numerical method for dynamic analysis of calcite twin lamellae. Geological Society American Bulletin, 83, p. 467 – 472, 1972.

15. STEINMANN, G., Geologia del Peru. Carl Winters Universitätsbuch, Heidelberg, p. 488, 1929.

16. TURNER, F. J., Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of tree marbles. American Journal of Science, 251, p. 276 – 298, 1953.

17. van HUNEN, J.; van den Berg, A. P.; Vlaar, N. J.; On the role of subducting oceanic plateaus in the development of shallow flat subduction. Tectonophysics 352, 317 – 333, 2002.

18. WETZELL, J. S. C.; Informe del Mapa Tectonico del Peru.; Relatório da biblioteca do Instituto Geologico Minero y Metalúrgico - Peru, p. 0 - 49, 1982.

19. WILSON, J. J.; Structural Development of the Northern Andes of Peru. 10° Congresso Peruano de Geologia, Resúmenes, Sociedad Geologica del Peru, Lima. 2000.

20. WISE, J. M.; NOBLE, D. C.; ZANETTI, K. A.; SPELL, T. L.; 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, 2008.

Manuscrito recebido em: 22 de setembro de 2011

Revisado e Aceito em: 03 de dezembro de 2013