

CLASSIFICAÇÃO DOS VEIOS QUARTZO-CARBONÁTICOS DE DEPÓSITOS AURÍFEROS NO LINEAMENTO CÓRREGO DO SÍTIO, QF, MG

Marco Aurélio Sequetto Pereira¹, Lydia Maria Lobato², Carlos Alberto Rosière²,
Rosaline C. Figueiredo e Silva²

1-Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, marcosequetto@gmail.com

2-Departamento de Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos 6627, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais, lobato@netuno.lcc.ufmg.br; rosiere@gmail.com; rosalinecris@yahoo.com.br

Recebido em 30 de setembro de 2013; aceito em 30 de dezembro de 2013

RESUMO: Os depósitos tipo *lode-gold* orogênicos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria, associados ao lineamento regional Córrego do Sítio (CdS), estão localizados na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, sudeste do cráton São Francisco. São hospedados em rochas metassedimentares turbidíticas arqueanas do *greenstone belt* Rio das Velhas e controlados por zonas de cisalhamento NE-SW. Diques e soleiras metamáficas pré- a pós-deformacionais ocorrem intimamente associados à mineralização aurífera e constituem excelentes guias prospectivos em lineamentos regionais como CdS. Cinco sistemas de veios, V1 a V5, são classificados de acordo com a composição mineralógica, textura, orientação, distribuição espacial e geometria. Dois tipos de quartzo ocorrem nestes veios, sendo o tipo 1 predominantemente fumê, cedo-hidrotermal, e o tipo 2 leitoso, recristalizado. Apenas os veios V1 (*fault-fill veins*) são relacionados à mineralização aurífera através da paragénese arsenopirita+pirita+pirrotita+berthierita+ ouro livre; se desenvolvem concordantes à foliação milonítica, S_{1m} , e estão deformados. Veios V2 (*oblique-extension veins*) são associados temporalmente aos V1 e, embora não estejam mineralizados nos depósitos estudados, são contemporâneos ao estágio mineralizador. Estes dois sistemas foram formados em regime dúctil-rúptil. Veios V3 (*extension e breccia veins*) são tardios à mineralização e representam um estágio posterior do fluido em regime dúctil-rúptil a rúptil; podem estar relacionados à mudança do campo de tensão regional e colocação dos diques tardios Db1. Os veios V4 (*extension veins*) possuem reações de substituição mineral que marcam a hidratação do sistema e podem se associar ao relaxamento das forças compressivas. Já os veios V5 (*vein stockworks*) ocorrem apenas em diques e soleiras metamáficas Db1 e estudos de inclusões fluidas indicam que esses contêm fluido diferente dos outros sistemas.

Palavras Chave: Classificação de veios quartzo-carbonáticos, ouro orogênico, zonas de cisalhamento, diques e soleiras.

ABSTRACT: QUARTZ-CARBONATE VEIN CLASSIFICATION OF AURIFEROUS DEPOSITS IN CÓRREGO DO SÍTIO LINEAMENT, QF, MG. The orogenic-type, lode-gold deposits Cachorro Bravo, Laranjeiras and Carvoaria, associated with the Córrego do Sítio (CdS) regional lineament are located in the eastern portion of the Quadrilátero Ferrífero region, southern São Francisco craton, Brazil. They are hosted in Archean metaturbiditic rocks of the Rio das Velhas greenstone belt and controlled by NE-SW shear zones. Pre- to post-deformational dikes/sills are closely related to gold mineralization and constitute excellent prospective guides in these regional lineaments such as CdS. Five vein systems have been classified, V1 to V5, in accordance to their mineralogical composition, texture, orientation, spatial distribution and geometry. Two types of quartz occur in these veins, with type 1 being predominantly smoky, early hydrothermal, and type 2 a milky, recrystallized quartz. Only V1 veins (fault-fill vein) are related to gold and have a paragenesis with arsenopyrite+pyrite+pyrrhotite+berthierite+ free gold; they develop along the mylonitic foliation S_{1m} , and have been deformed. The V2 veins (oblique-extension veins) are associated temporally with V1 and although non-mineralized, in the studied deposits they are contemporaneous to the gold stage. These two systems are formed under a ductile-brittle regime. The V3 veins (extension and breccias veins) are post gold and represent a late-stage hydrothermal fluid under ductile-brittle to brittle regime; they may be related to changes in the stress field and to the emplacement of late-stage Db1 dikes. The V4 veins (extension veins) have mineral replacement reactions that represent hydration of the system associated with the relaxation of the compressive field. The V5 veins (stockwork style) are limited to metamafic Db1 dykes/sills and fluid inclusion studies indicate that they contain a different fluid from the others systems.

Keywords: Quartz-carbonate vein classification, orogenic gold, shear zones, dikes/sills.

1. INTRODUÇÃO

O lineamento Córrego do Sítio é uma estrutura de caráter regional associada a zonas de cisalhamento de direção NE-SW que corta as unidades do Supergrupo Rio das Velhas e onde estão alinhados importantes depósitos auríferos. O lineamento localiza-se na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, no município de Santa Bárbara, estado de Minas Gerais, entre a megaestrutura sinclinal de Gandarela e o alto do Caraça do Supergrupo Minas (Dorr 1969; Fig. 1). Possui extensão de aproximadamente 16 quilômetros, interconectando-se a outros dois lineamentos subparalelos: São Bento e Cristina (Porto 2008, Lima 2012; Fig. 2). Os principais depósitos auríferos no lineamento Córrego do Sítio

são Cachorro Bravo, Laranjeiras, Carvoaria, Bocaina, Mutuca, Lajeado, Grota Funda, Santana, Sangue de Boi, Barra Feliz, Anomalia 1 e Santa Quitéria (Fig. 2), sendo os três primeiros os de maior importância econômica. Pertencem à empresa AngloGold Ashanti Córrego do Sítio Mineração S/A (AGACSM), que opera suas unidades em cavas a céu aberto e em subsolo. Os lineamentos totalizam recursos e reservas na ordem de 5,12 Moz. ([site www.anglogoldashanti.com.br](http://www.anglogoldashanti.com.br), 2013).

Os depósitos estão hospedados em rochas do *greenstone belt* Rio das Velhas e são classificados como orogênicos do tipo *gold only* por Lobato *et al.* (2001a) no sentido de Groves *et al.* (1998). Possuem forte controle estrutural e alteração hidrotermal com zonas de silicificação, sulfetação, carbonatação,

sericitização e cloritização. O metamorfismo é de fácies xisto verde.

Os depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras, Carvoaria e São Bento têm sido objeto de estudo por vários autores, dentre eles Martins (1995), Canale (1999), David (2006), Martins-Pereira *et al.* (2007), Porto (2008), Lima (2012), Ribeiro (2013), além de relatórios internos não publicados pela empresa AGACSM.

Depósitos *lode-gold* em *greenstone belts* arqueanos são conhecidos em vários continentes e estudados por diversos autores (*e.g.*, Vearncombe 1993, Groves *et al.* 1998, Kisters *et al.* 2000, Robert e Poulsen 2001 e outros). A silicificação nesses depósitos mostra íntima associação com a mineralização aurífera e, portanto, veios e venulações nestes terrenos constituem importantes guias prospectivos. Nesse trabalho, a classificação de grande variedade de veios objetiva caracterizar as condições de sua formação e a distinção dos eventos deformacionais e hidrotermais associados.

Veios quartzo-carbonáticos, mineralizados e não mineralizados nos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria, pertencentes ao lineamento Córrego do Sítio, são classificados e separados em famílias definindo-se sistemas geneticamente relacionados, de acordo com suas propriedades internas, mineralógicas e estruturais, segundo a sistemática de Robert e Poulsen (2001). Através das relações de corte entre os veios e suas características texturais é feita uma interpretação sobre a cronologia, estabelecendo-se um modelo evolutivo para sua formação de maneira a se obter informações acerca da evolução da mineralização.

2. MÉTODOS DE MAPEAMENTO

A classificação dos veios nos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria foi precedida pelo mapeamento geológico no subsolo. O mapeamento foi escolhido por garantir a análise dos veios em três dimensões e permitir a melhor visualização das relações de formação, deformação e corte.

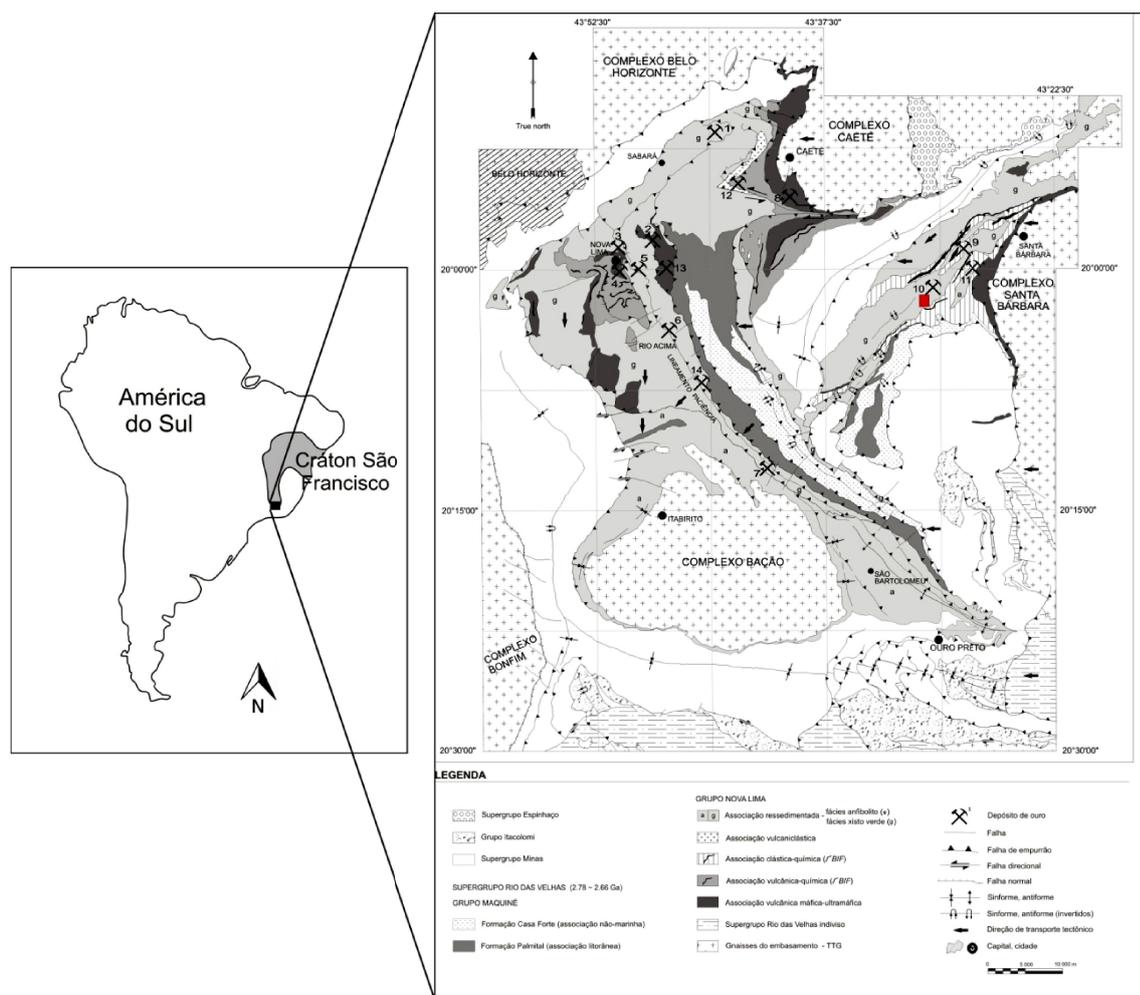


Figura 1 – Mapa geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero com as principais associações de litofácies, do greenstone belt Rio das Velhas, e localização dos principais depósitos auríferos (Zucchetti *et al.* 1996). Depósitos de ouro: 1- Cuiabá; 2- Raposos; 3- Morro Velho; 4- Bela Fama; 5- Bicalho; 6- Esperança; 7- Paciência; 8- Juca Vieira; 9- São Bento; 10- Córrego do Sítio; 11- Brumal; 12- Lamego; 13- Santana; 14- Engenho d'Água. Área de estudo destacada em vermelho (detalhe na Fig. 2).

Os principais critérios utilizados para a classificação dos veios foram composição mineralógica, textura, orientação, distribuição espacial e geometria dos veios, separando-os em famílias geneticamente relacionadas.

Foram descritos diversos afloramentos de veios, selecionados como pontos de referência para o mapeamento nos depósitos, tanto em corpos de minério como nos acessos principais, com o objetivo de classificar os sistemas de veios e escolher os melhores locais para a realização dos mapas de detalhe na escala de 1:100. Foram determinadas as galerias do corpo 160 norte, nível 696 do depósito Laranjeiras, e a galeria do corpo 306 norte no nível 643 do depósito Cachorro Bravo. Foram gerados mapas das galerias, referentes ao mapeamento litológico-estrutural associado aos sistemas e famílias de veios (vide Classificação de Veios; Figs. 7 e 8).

A base de dados levantados para a análise das estruturas foi em parte referente ao mapeamento em subsolo, além da compilação de diversos mapeamentos realizados por geólogos da AGACSM e consultores, tanto em subsolo quanto em cavas a céu aberto dos mesmos depósitos.

3. GEOLOGIA REGIONAL

Os depósitos associados ao lineamento aurífero Córrego do Sítio hospedam-se em rochas arqueanas do *greenstone belt* Rio das Velhas, do distrito mineral Quadrilátero Ferrífero, conhecido mundialmente por diversos depósitos de ouro, ferro, gemas e minerais industriais.

Três grandes unidades geotectônicas são encontradas no Quadrilátero Ferrífero: o embasamento granito-gnáissico, a sequência do tipo *greenstone belt* - Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) e sequências supracrustais metassedimentares paleoproterozóicas (Dorr et al. 1957; Fig. 1).

Os terrenos granitos-gnáissicos são compostos por tonalitos, trondhjemitos e granodioritos (TTG). Representam crosta sílica formada entre 3380 a 2900 Ma (Teixeira et al., 1996) e polideformada em eventos posteriores. O SGRV é constituído por rochas vulcânicas máficas e ultramáficas, formações ferríferas bandadas (FFBs) tipo Algoma, xistos e filitos vulcanoclásticos e sequências sedimentares clásticas, em sua maioria com paragêneses minerais da fácies xisto verde, localmente atingindo anfíbolito (Dorr et al. 1957, Dorr 1969, Pflug e Renger 1973 e Baltazar & Zucchetti, 2007). Estudos geocronológicos indicam idade neoarqueana para esse conjunto de rochas (Machado et al. 1992, Noce et al. 2005). De acordo com Romano et al. (2013) intrusões de granitos potássios no SGRV, com idades entre 2750 a

2600 Ma, marcam a transformação tectônica do terreno e início da deposição do Supergrupo Minas.

O SGRV é subdividido nos grupos Nova Lima e Maquiné (Dorr et al., 1957 e Pflug e Renger, 1973). O Grupo Nova Lima foi dividido por Ladeira (1980) nas unidades metavulcânica inferior, metassedimentar química intermediária e metassedimentar clástica superior. A unidade inferior é denominada Grupo Quebra Ossos por Schorscher (1978) e composta por rochas máficas e ultramáficas com komatiitos metamorfisados com textura *spinifex*. Posteriormente Baltazar e Silva (1996) e Baltazar e Zucchetti (2007) relacionaram o Supergrupo Rio das Velhas a sete associações de litofácies aplicando o conceito de fácies sedimentares.

As sucessões supracrustais paleoproterozóicas incluem rochas do Supergrupo Minas, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço. De acordo com Machado et al. (1992), o Supergrupo Minas representa sedimentação plataformal formada entre 2600 e 2125 Ma que sobrepõe o *greenstone belt* Rio das Velhas por discordância angular e erosiva.

A mais recente revisão dos diversos modelos estruturais existentes para as rochas do SGRV é feita por Baltazar e Zucchetti (2007). Os autores subdividem o SGRV em quatro grandes domínios, de acordo com os estilos estruturais e com as estruturas regionais principais.

Os principais depósitos de ouro no SGRV da região do Quadrilátero Ferrífero são mostrados na Figura 1, sendo os mais importantes Morro Velho, Cuiabá, Raposos, São Bento, Faria, Bicalho, Bela Fama, Córrego do Sítio, Urubu, Lamego e Santa Quitéria (e.g., Ladeira 1991, Lobato et al. 2001c, Junqueira et al. 2007, Martins-Pereira et al. 2007, Ribeiro-Rodrigues et al. 2007, Vial et al. 2007, Martins et al. 2011). Estão associados a grandes lineamentos regionais de direção NW/SE, NE/SW e E-W e, na escala do depósito, são controlados por zonas de cisalhamento de segunda e terceira ordens. Embora as principais litologias hospedeiras das mineralizações auríferas sejam as FFBs, o ouro também se relaciona a diversos litotipos como rochas máficas, ultramáficas, vulcanoclásticas e sedimentares (Vial et al. 2007). Alteração hidrotermal pervasiva relacionada às zonas de cisalhamento caracteriza-se por intensa silicificação, carbonatação, sericitização e cloritização (Vieira e Oliveira, 1988). Os corpos de minério sulfetados são maciços, bandados ou disseminados e sempre associados a veios de quartzo (Lobato et al. 1998).

O único trabalho de datação U-Pb robusta para depósitos de ouro no SGRV da região do Quadrilátero Ferrífero mostra que, no caso de Cuiabá e Morro Velho, monazita hidrotermal

associada a sulfetos auríferos tem idade de $2,67 \pm 0,014$ Ga e, assim, relacionada aos estágios mais tardios da evolução do *greenstone belt* (Lobato et al. 2007).

3. GEOLOGIA DO LINEAMENTO CÓRREGO DO SÍTIO

3.1. ESTRATIGRAFIA

3.1.1. Sucessões Metassedimentares

A Unidade Santa Quitéria (Zucchetti e Baltazar 1996) está na base dos depósitos e aflora na porção norte da área (Fig. 2). Predominam filitos sericíticos, cloríticos e carbonosos de granulação fina a muito fina e lentes de FFB ricas em magnetita.

A Unidade Córrego do Sítio, definida por Zucchetti e Baltazar (1996), é subdividida em três

subunidades informais por Lima (2012): inferior, intermediária e superior (Figs. 2 e 3). A superior é constituída por lentes intercaladas de metagrauvas e filitos carbonosos e micáceos, em contraste com a intermediária, onde predominam filitos carbonosos a micáceos e quartzo-clorita xistos com intensa foliação milonítica e que contém o grosso da mineralização aurífera. A subunidade inferior é composta por uma espessa sequência de filitos carbonosos a micáceos, intercalados com metagrauvas e lentes de FFB (Tabela 1). Diversas estruturas primárias estão bem preservadas, como acamamento e laminação cruzada em ciclos de Bouma incompletos, com exposição dos níveis Ta e Tb. Todas as rochas estão metamorfisadas na fácies xisto verde.

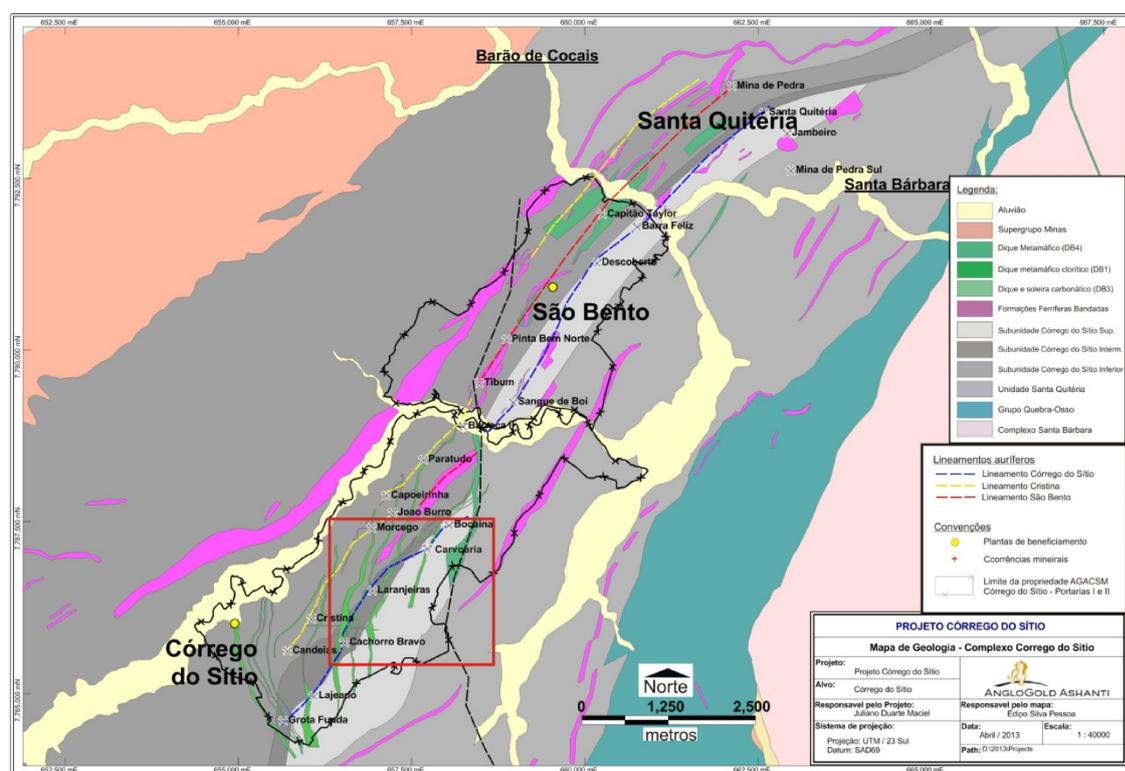


Figura 2 – Mapa litológico dos depósitos Córrego do Sítio e São Bento, com os lineamentos Córrego do Sítio, São Bento e Cristina. Destaque, no canto superior esquerdo, para a área de estudo (AGACSM, 2013 – Mapa interno, utilizado com permissão da empresa).

Tabela 1– Resumo das principais características macroscópicas das rochas metassedimentares (modificado de Lima, 2012).

Unidade	Subdivisão	Litologia	Espessura média (m)	Características macroscópicas
Unidade Córrego do Sítio	Superior	Metagrauvas intercalados com lentes de metapelitos carbonosos e sericíticos	(?)	-Predomínio de metagrauvas com raras venulações
	Intermediária	Metapelitos carbonosos intercalados com lentes de metagrauvas	80 a 120	- Predomínio de metapelitos carbonosos em relação as metagrauvas. - Veios e venulações de quartzo com sulfetos e sulfossais. Dobras apertadas a isoclinais Zonas de cisalhamento e foliação milonítica
	Inferior	Metapelitos carbonosos intercalados com lentes de metagrauvas e formação ferrífera bandada	(?)	- Alternância de metapelitos carbonosos com metagrauvas - Formação ferrífera bandada intercaladas com metachert e bandas de filito carbonoso.
Unidade Santa Quitéria	Indiviso	Metapelitos carbonosos, sericíticos e cloríticos e formação ferrífera bandada	(?)	- Metapelitos carbonosos, sericíticos e cloríticos - Dobras apertadas e transpostas Camadas homogêneas sem intercalações. - Formação ferrífera bandada com forte magnetismo

3.1.2. Diques e soleiras metamáficas

Enxames de diques e soleiras metamáficas, com paragênese mineral na fácies xisto-verde, interceptam a Unidade Córrego do Sítio no lineamento de mesmo nome (Figs. 2 e 3). São subdivididos por Porto (2008) e Lima (2012) por suas características macroscópicas, microscópicas e intensidade de alteração hidrotermal e denominados Db1, Db2, Db3 e Db4 sem conotação cronológica (vide características na Tabela 2).

Rochas metamáficas representativas dos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria têm alteração predominante: (i) clorítica – Db1; (ii) carbonática e sericítica – Db3; ambos são foliados, com paragêneses semelhantes (Canale 1999). Apesar de cortarem a sequência sedimentar e os corpos mineralizados, apresentam-se orientados paralelamente ao lineamento Córrego do Sítio. Os diques Db2 apresentam mineralogia semelhante aos diques Db3, não apresentam continuidade espacial, afloram apenas na cava Cristina e devido à sua estruturação E-W são agrupados separadamente. Já os diques Db4 não afloram na área de estudo e, portanto, não são discutidos neste trabalho.

Os corpos Db1 são tabulares, com espessuras de 10 a 40 metros e, localmente, atingem 100 metros. Têm orientação NNE/50°SE e são mais abundantes em Cachorro Bravo (Figs. 2 e 3). Apresentam-se zonados, com o núcleo maciço, pouco foliado e de granulação média, e bordas bem foliadas com granulação fina. O contato com as rochas metassedimentares é brusco e marcado por um halo de alteração nas hospedeiras com clorita, sericita, silicificação e, localmente, sulfetação, semelhantemente ao que se observa nas zonas mineralizadas. Diversas zonas de cisalhamento NNE-NNW cortam estes diques e são marcadas por venulações de quartzo e carbonato.

Os corpos tabulares Db3 são delgados, em cerca de 0,10 a 7 metros, com orientação NNE/75°SSE, e mais numerosos em Laranjeiras e Carvoaria (Figs. 2 e 3). Contêm principalmente quartzo, carbonato, mica branca, plagioclásio e clorita. A parte interna é maciça e homogênea e as bordas foliadas têm intensa venulação. Nos contatos com rochas metassedimentares mostram halos de alteração com carbonato, sericita, pouca clorita, silicificação e, localmente, são mineralizados.

3.1.3. Mineralização aurífera

Os corpos mineralizados (*ore shoots*) possuem espessura de 0,10 a 10 metros, podem conter berthierita (FeSb_2S_4) e ouro livre nos veios e sulfetação disseminada nas encaixantes com pirrotita, pirita e arsenopirita, que é o principal sulfeto aurífero.

São encontrados múltiplos corpos paralelos entre as rochas metassedimentares e os diques e soleiras metamáficas, na forma de lentes com dimensões variáveis, entre 30 a 500 metros de comprimento, 50 a 200 metros de altura e espessura média de 2 metros.

Porto (2008) e Lima (2012) descrevem três tipos principais de corpos de minério nos depósitos Cachorro Bravo e Laranjeiras, localmente designados séries 100, 200 e 300 (Fig. 3). O corpo série 100 pertence à subunidade Córrego do Sítio inferior, e é caracterizado por lentes hospedadas em metagrauvacas e sericita-quartzo xistos com feições de brecha e *stockwork*. O corpo série 200 está no centro da subunidade Córrego do Sítio intermediária e é representado por venulações de quartzo intercaladas com lâminas de rocha encaixante envoltas pela foliação e textura laminada. Localizado no topo da subunidade Córrego do Sítio intermediária, o corpo 300 é marcado por maior proporção de veios em relação às hospedeiras.

Tabela 2– Resumo das principais características dos diques e soleiras metamáficas (modificado de Lima 2012).

Litologia (códigos mina)	Espessura (m)	Mineralogia		Principais características	
		Essenciais	Acessórios	Centro	Borda
Metamáfica zonada (Db4)	60 a 100	Piroxênio, anfibólio biotita, plagioclásio clorita, quartzo, titanita muscovita e carbonato	Magnetita, ilmenita pirita, pirrotita, apatita calcopirita e esfalerita	-Cristais grossos a médios -Textura ígnea preservada -Xistosidade incipiente	-Cristais médios a finos -Xistosidade penetrativa - <i>Stockwork</i> com venulações milimétricas a centimétricas
Metamáfica zonada com alteração clorítica (Db1)	10 a 40	Horneblenda, plagioclásio tremolita-actinolita, clorita epidoto, carbonato, quartzo muscovita e biotita	Magnetita, titanita ilmenita, rutilo, pirita pirrotita e calcopirita	-Cristais grossos a médios -Textura ígnea preservada -Xistosidade incipiente	-Cristais médios a finos -Xistosidade penetrativa - <i>Stockwork</i> com venulações milimétricas a centimétricas
Metamáfica não zonada com alteração carbonática e sericítica (Db2 / Db3)	0,10 a 7	Carbonato, muscovita quartzo, clorita e tremolita-actinolita	Pirita, pirrotita e calcopirita	-Cristais médios a finos -Porfiroblastos de carbonato -Textura maciça a homogênea -Raras venulações	

As rochas da Unidade Córrego do Sítio, marcadas pela alternância entre lentes de metapelitos e metapsamitos, hospedam zonas de cisalhamento de direção NE-SW, que constituem a estrutura hospedeira da mineralização aurífera (Fig. 3). A alteração hidrotermal associada a essas zonas caracteriza-se por silicificação, carbonatação, sericitização e sulfetação.

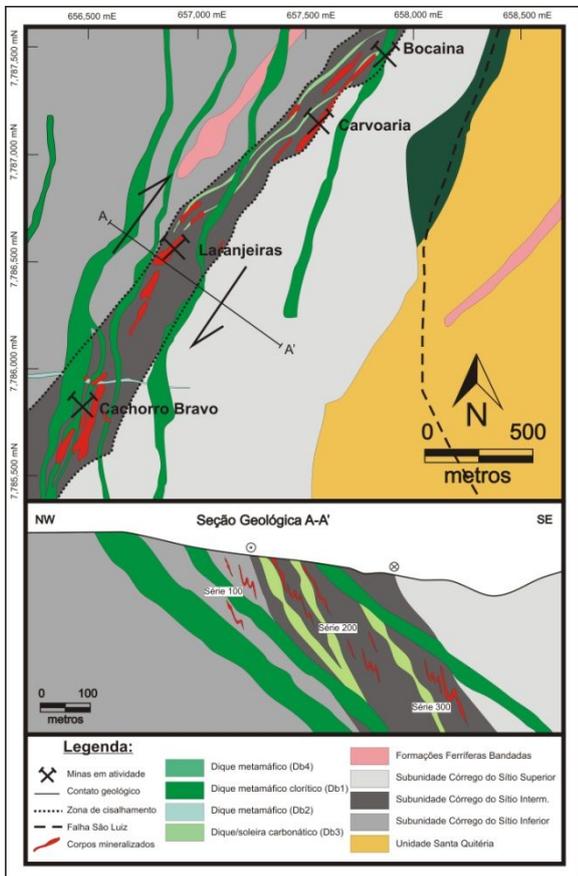


Figura 3 – Mapa litológico do lineamento Córrego do Sítio com seção geológica e destaque para os depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras, Carvoaria e Bocaina. Acham-se plotados os corpos mineralizados e os limites da zona de cisalhamento (modificado de AGACSM, 2013 – relatório interno, utilizado com permissão da empresa).

3.2.GEOLOGIA ESTRUTURAL

3.2.1. Introdução

A região de estudo encontra-se em uma mega estrutura denominada Anticlinal Conceição (Dorr et al. 1969, Abreu et al. 1988), caracterizada por uma dobra homoclinal de direção NE-SW e mergulho para SE. A tectônica responsável pela estruturação da área é compressiva com componente transcorrente (transpressiva). A sequência estratigráfica apresenta-se invertida, com o Grupo Quebra Ossos, base do SGRV, no topo das unidades e em contato com o Complexo Santa Bárbara (Fig. 2). O Anticlinal Conceição está localizado entre duas importantes mega estruturas, o sistema de falhas Fazendão, de direção NNW-SSE a leste, e a oeste o sinclinal de Gandarela, de direção NE-SW associado ao sistema de falhas Fundão-Cambotas (Chemale Jr. et al. 1994; Fig. 2).

A descrição das principais estruturas é organizada de forma cronológica provável; optou-se por agrupá-las em três fases deformacionais.

3.2.2. Acamamento S0

Estrutura planar mais antiga reconhecida. É representada pela alternância rítmica entre lentes milimétricas a decamétricas de metagrauvacas e filitos sericíticos e carbonosos (Fig. 4A). Onde pouco deformado é possível reconhecer feições sedimentares como laminação e estratificação cruzada acanalada, de pequeno porte, em regime de deposição granodrecrescente ascendente, em ciclos de Bouma incompletos.

A variação de direção e mergulho dos planos de acamamentos define uma guirlanda no estereograma da Figura 5A, associados a dobras assimétricas fechadas a isoclinais.

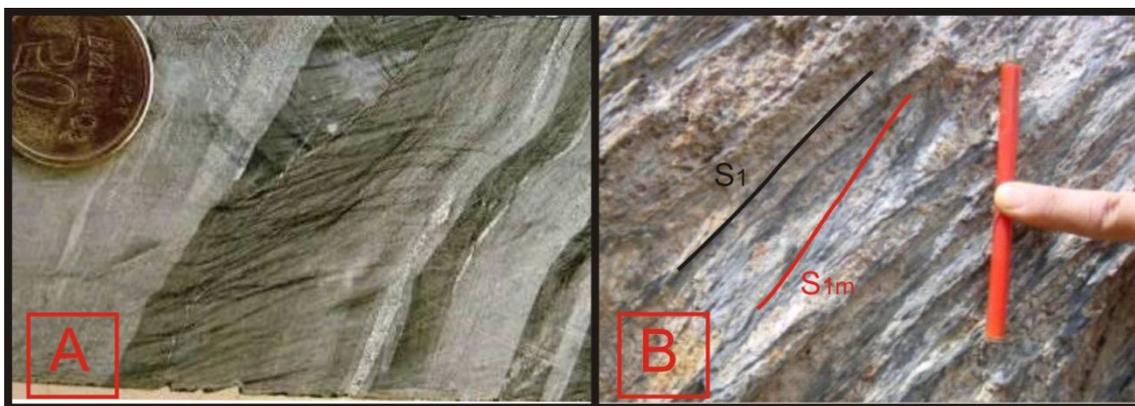


Figura 4 – A) Alternância rítmica entre pelitos e psamitos marcando o acamamento S_0 . B) Estrutura tipo s-c com foliação milonítica S_{1m} em baixo ângulo com a foliação principal S_1 (modificado de Lima 2012).

3.2.3. Estruturas D₁

S₁

Estruturas da fase D₁ são reconhecidas em toda a área e caracterizadas pela foliação regional S₁, de orientação NE e mergulho forte a moderado para SE (Fig. 5B). É uma xistosidade contínua com sericita orientada preferencialmente, sendo plano axial das dobras assimétricas fechadas a isoclinais associadas a esta fase (Fig. 5A).

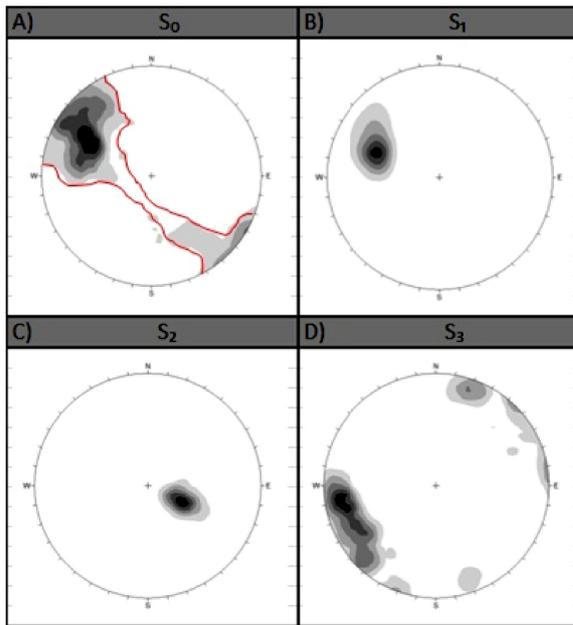


Figura 5 – Projeção de área igual (hemisfério inferior) das principais estruturas coletadas pelo autor e diversos geólogos da AGACSM nos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria. A) Guirlanda (vermelho) de distribuição dos polos do acamamento S₀ (103 medidas). B) Distribuição dos polos da foliação S₁ (606 medidas). C) Distribuição dos polos da clivagem de crenulação S₂ (144 medidas). D) Distribuição dos polos da clivagem de fratura S₃ (60 medidas).

S_{1m}

Uma segunda foliação subparalela à S₁, de direção NE e alto mergulho para SE, é reconhecida e denominada foliação milonítica S_{1m}. Ela é caracterizada pela formação da foliação anastomosada e textura milonítica, com bandas de cisalhamento representadas por estruturas tipo s-c (Fig. 4B). Outras feições relativas a esta fase são pods de quartzo fibroso, veios boudinados, *tension gashes* sigmoidais e dobras assimétricas. Esta foliação evolui a partir de S₁, comumente sobrepondo-a ao longo de zonas de cisalhamento desta fase.

3.2.4. Zonas de Cisalhamento

As zonas de cisalhamento são relacionadas a esta foliação e apresentam-se subparalelas a S₁ e S₀. São caracterizadas como faixas, de espessura variável, heterogêneas com intensa venulação, e delimitam a

zona de cisalhamento principal (Fig. 3). Diversas zonas de cisalhamento de segunda e terceira ordens são limitadas por esta estrutura regional. Elas se estabelecem preferencialmente na subunidade Córrego do Sítio intermediária, onde predominam filitos carbonosos, e não na subunidade inferior ou superior, onde há o domínio de metagrauvas em relação aos filitos carbonosos (Lima 2012).

A distinção entre a foliação milonítica, S_{1m}, e a foliação regional S₁, em alguns locais, pode não ser clara ou as mesmas estarem transpostas pela foliação S_{1m}.

Estruturas D₂

A fase D₂ é caracterizada pela formação de uma foliação espaçada com micrólitos, denominada clivagem de crenulação S₂. Possui orientação NNE e mergulho suave para noroeste, conforme estereograma da Figura 6C. A crenulação corta a foliação regional S₁ em alto ângulo (70 a 80°) e, embora possua a mesma orientação espacial, elas mergulham em sentidos opostos. Esta clivagem é bem desenvolvida nos xistos e filitos da região; entretanto, em metagrauvas e diques pode ocorrer a refração desta foliação.

Dobras suaves com eixos horizontais são associadas a esta fase. Localmente, veios de quartzo são colocados ao longo de planos de falhas formando dobras tipo *drag folds* (Fig. 10G). Pequenos deslocamentos inversos são associados a esta foliação e podem romper localmente os veios formando rejeitos milimétricos.

Estruturas D₃

A última fase é caracterizada pela geração da clivagem de fratura S₃, que possui orientação N-NW e alto mergulho em relação às outras estruturas (Fig. 5D). Tratam-se de fraturas com espaçamento de poucos centímetros a até um metro, que são preenchidas por quartzo e carbonato. Dobras abertas são associadas a este evento com a formação de uma clivagem de fratura em leque que é plano axial destas dobras.

3.3. CLASSIFICAÇÃO DO SISTEMA DE VEIOS EM CÓRREGO DO SÍTIO

A classificação e o estudo dos veios quartzo-carbonáticos em terrenos *greenstone belts* arqueanos é tema recorrente de diversos trabalhos. Os primeiros estudos foram realizados por Adams (1920), que analisou diferentes texturas microscópicas dos cristais de quartzo de veio, bem como as variedades da sílica nos veios hidrotermais, as estruturas do quartzo em ambientes de baixa e alta pressão, estruturas de substituição do quartzo e os rearranjos da sílica. Posteriormente, White (1943), Dowling e Morrison (1989), Vearncombe (1993, 1998) e outros autores detalharam as texturas da sílica em diversos ambientes mineralizados. Embora tema bastante estudado, devido à ocorrência do quartzo em quase todas as

jazidas hidrotermais, os termos empregados para a classificação das texturas e estruturas do quartzo não são consenso e sua terminologia é bastante controversa.

Os maiores avanços no assunto são de Dowling e Morrison (1989) que classificaram as texturas dos veios de forma sistemática e, posteriormente, de Vearncombe (1993) que propôs nova categorização da morfologia dos veios de quartzo com base na geometria de sua adição, classificando os veios em sete categorias: (1) controladas pela face (*face-controlled*); (2) controladas por deslocamento (*displacement-controlled*); (3) de controle paralelo (*parallel-controlled*); (4) irradiado a partir de um ponto (*radiating*); (5) sem controle direcional (*non-directional control*); (6) de substituição (*replacement*), e (7) modificado por recristalização ou deformação (*modified*).

Posteriormente, Robert e Poulsen (2001) propuseram nova classificação para veios quartzo-carbonáticos auríferos em *greenstone belts* arqueanos, levando em consideração a natureza da fratura hospedeira do veio. As relações entre tensões exercidas em um determinado bloco rochoso e as condições de pressão de fluido são responsáveis pelo fraturamento das rochas e, portanto, pela formação de três tipos de veios (Fig. 6):

- (1) Extensionais (*extension veins*)
- (2) De extensão oblíqua (*oblique-extension veins*)
- (3) De preenchimento de falha (*fault-fill veins*)

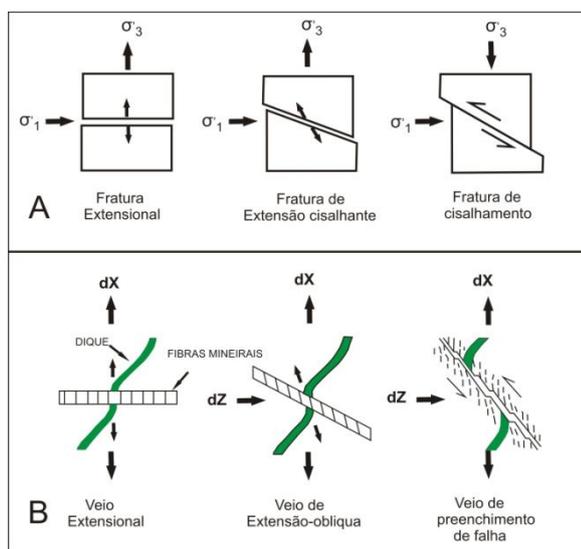


Figura 6 – Relações entre as principais tensões (stress), os tipos de fraturamento e a formação dos veios. A) Ilustração das relações angulares dos três tipos de fraturas com as direções principais de tensão. B) Ilustração dos três tipos de veio esperados do resultado da formação e abertura de fraturas em rochas sã (modificado de Robert e Poulsen 2001).

Além da natureza da fratura hospedeira, outros aspectos são levados em consideração como textura dos veios, feições e estruturas internas, geometria e estruturas hospedeiras. Assim, veios e venulações são distinguidos e classificados como de preenchimento de falha, extensionais e extensão oblíqua, em *stockwork* e de brecha (Robert e Poulsen 2001).

Para o caso dos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria, no lineamento Córrego do Sítio, são classificados veios mineralizados e não mineralizados, separando-os em famílias e sistemas geneticamente relacionados, de acordo com suas propriedades internas, mineralógicas e estruturais. Entende-se por sistema de veios aquele com características físicas semelhantes como mineralogia principal ou acessória, orientação espacial e tipo de veio. Entretanto, pequenas variações entre estas características podem subdividir os sistemas em famílias de veios.

Cinco grandes sistemas de veios mapeados e reconhecidos, V1, V2, V3, V4 e V5 (Figs. 7 e 8), estão sumarizados na Tabela 3, de acordo com a proposta de Vearncombe (1993) e Robert e Poulsen (2001). A subdivisão tem como base (1) a estrutura hospedeira do veio, (2) as relações de corte entre os veios e a sua possível colocação temporal. Assim, os veios mais antigos são os V1 e os mais novos são os veios V5.

Todos os veios são predominantemente quartzo-carbonáticos, com proporções variadas de sulfetos e sulfossais. Os classificados V1 a V4 dominam nas rochas metassedimentares e nos diques e soleiras Db3; já os veios V5 ocorrem apenas nos diques Db1 e possuem composição mineralógica diferente. Vale destacar que o trabalho sobre inclusões fluidas de Ribeiro (2013) estabeleceu quatro conjuntos de veios sendo: (1) controlados pela foliação S_1 (mineralizados, ricos em sulfetos e sulfossais); (2) controlados pela clivagem de crenulação S_2 ; (3) controlados pela clivagem de fratura S_3 ; (4) restritos aos diques e soleiras Db1.

O estilo estrutural dos veios V1, V2, V3, V4 e V5 podem variar de acordo com a rocha hospedeira e a pressão de fluido. Diques e metagrauvas comportam-se reologicamente diferente dos clorita-sericita-quartzo xistos, a exemplo dos veios V1 que formam *stockworks* em metagrauvas e estruturas tipo pinch and swell nos clorita-sericita-quartzo xistos.

Tabela 3– Tabela de resumo dos sistemas de veios, V1 a V5, com composição mineralógica, estrutura, orientação preferencial, textura, tipo de controle de adição de sílica (critério de Vealcombe 1993) e classificação do veio (critérios de Robert e Poulsen 2001).

Sistema	Família	Estrutura	Composição Mineralógica		Orientação	Texturas dos veios	Controle do Veio (critérios de Vealcombe, 1993)	Tipo de veio (critérios de Robert e Poulsen, 2001)	
			Principal	Acessórios					
V1	V1a	Mineralizado	S1	Quartzo fumê, anquerita sericita e clorita	Arsenopirita, pirrotita, pirita, esfalerita, calcopirita, berthierita, stibinita e ouro livre	120/70	Pinch and swell	Modificado	Preenchimento de falha (fault-fill vein)
	V1b			Quartzo leitoso, anquerita sericita e clorita	Arsenopirita, pirrotita, pirita, esfalerita, berthierita, stibinita e ouro livre	120/70	Maciço	Modificado Sem controle direcional	
	V1c			Quartzo fumê e leitoso anquerita, sericita e clorita	Pirita, pirrotita e esfalerita	120/70	Laminado	Modificado	
V2	V2a	Não Mineralizado	Obliquo	Quartzo e anquerita	Pirita e pirrotita	70/70 e 160/80	Maciço	Sem controle direcional	Extensional-obliquo
	V2b		S2	Quartzo e anquerita	Pirita e pirrotita	295/40	Maciço e em pente	Sem controle direcional Controlado pela face	Extensional
V3	V3a		S3	Quartzo leitoso e fumê anquerita	Esfalerita, pirita e pirrotita	70-130/80	Em pente e fibroso	Controlado pela face	Extensional
	V3b			Quartzo leitoso fragmentos de rocha/veio	Carbonato	60/70	Brechado / Creak-Seal	Controlado por deslocamento	Brecha hidráulica
V4			S2	Quartzo, carbonato e clorita	Pirrotita	300/30	Substituição / maciço	Substituição	Extensional
V5		Diques (DB1)	Quartzo, carbonato e clorita	Pirita	90/80	Cisalhados / Stockwork	Sem controle direcional Controlado por deslocamento	Stockwork	

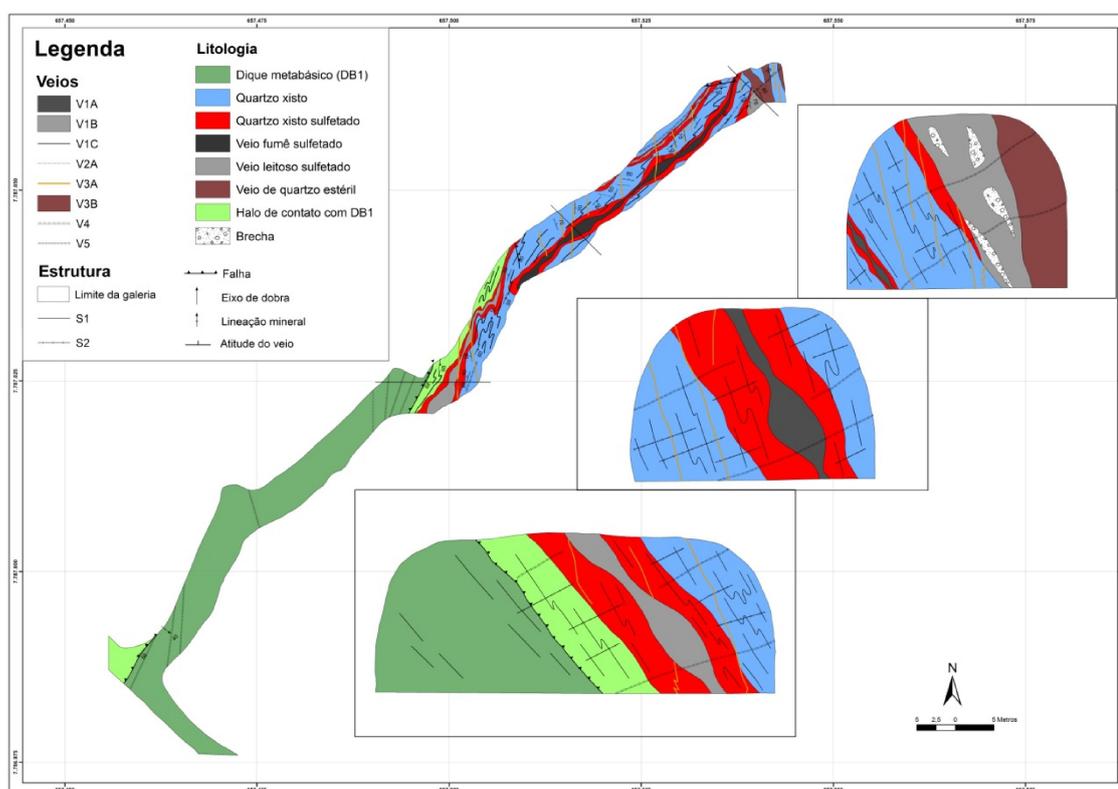


Figura 7 – Mapa geológico de subsuperfície do depósito Laranjeiras no nível 696, corpos 155 e 160 com os diversos sistemas de veios, V1 a V5, e suas relações de corte.

3.3.1. Sistema de Veios V1

Os veios V1 estão associados à mineralização aurífera em Córrego do Sítio. São constituídos pelas famílias de veios V1a, V1b e V1c, diferenciados pela composição mineralógica e feições estruturais, e são concordantes com a foliação S_1 (Tabela 3).

3.3.2. Veios V1a

Os veios V1a são compostos por quartzo fumê, carbonato ankerita, clorita, sericita e minerais

acessórios como pirita, pirrotita, arsenopirita, esfalerita, calcopirita, berthierita, estibinita, e podem conter ouro livre (Tabela 3). Dois tipos de quartzo são encontrados, sendo o tipo 1 de cristal grosso, entre 4 a 0,5 mm, em contatos intergranulares suturados e com extinção ondulante, e o tipo 2 poligonal, de contatos retos e cristais mais finos que 0,5 mm. Há predomínio do quartzo tipo 1 em relação ao tipo 2 (Fig. 9A).

Veios V1a são paralelos a subparalelos à foliação principal S_1 e, onde subparalelos, podem discordar em até 30° da foliação. Sua orientação média é N30E/70SE, com estruturas *pinch and swell* e *boudins* nos flancos das dobras (Fig. 9B). Restos de charneiras também ocorrem e, localmente, há espessamento do veio em até 10 metros.

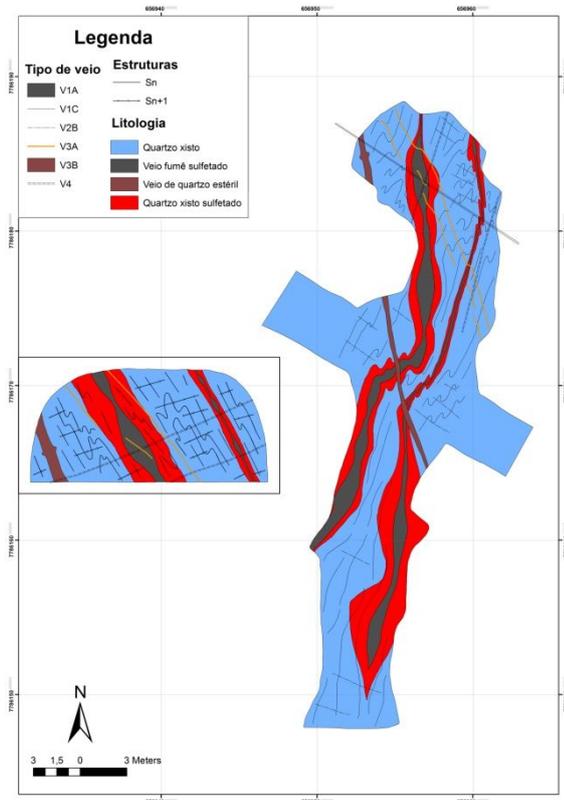


Figura 8 – Mapa geológico de subsuperfície do depósito Cachorro Bravo no nível 643, corpo 306 com os diversos sistemas de veios, V1 a V4, suas relações e geometria.

Fragmentos de rocha hidrotermalizada e mineralizada se encontram no interior desses veios, e podem exibir estrias de deslizamento com direção média de N50W/60NE. A proporção entre veio e rocha hospedeira varia ao longo de sua direção. Podem formar veios irregulares, lenticulares, sigmoidais ou cisalhados (Fig. 9B).

As inclusões fluidas no quartzo fumê tipo 1 são classificadas como tipo 1a, de salinidade moderada ($\sim 8.5\%$ em peso de NaCl eq.), razão média $CO_2:CH_4$ em 5.4 e temperatura mínima média de aprisionamento de $280 \pm 17^\circ C$ (Ribeiro 2013)

3.3.3. Veios V1b

Os veios V1b contêm quartzo, carbonato ankerita, sericita, clorita, além de arsenopirita, pirrotita, pirita, esfalerita, berthierita, estibinita, e

ouro livre (Tabela 3). O quartzo é leitoso, de textura maciça e, comumente, associado à borda dos diques e soleiras Db1 e Db3, ou hospedado em metagrauvaca (Fig. 9C).

A textura geral dos veios V1b é granoblástica (Fig. 9D). Os dois tipos de quartzo também são encontrados em V1b, embora o poligonal fino tipo 2 predomine em relação ao grosso tipo 1.

Os veios V1b são paralelos a subparalelos à foliação principal (S_1). Estruturas tipo *pinch and swell* (Fig. 9E), *boudins* e dobras isoclinais no plano da foliação são associadas. Fragmentos de rocha hidrotermalizada mineralizada são encontradas nesses veios (Fig. 9D) e, nas mesmas, acham-se finas palhetas de sericita marcando a lineação de estiramento no plano da foliação S_1 .

As inclusões fluidas no quartzo leitoso tipo 2 são classificadas como tipo 1b e 1c, menos salinas ($\sim 4.6\%$ em peso de NaCl eq.), com razão média de $CO_2:CH_4$ de 4.9 e temperatura mínima média de aprisionamento de $315 \pm 33^\circ C$; algumas inclusões fluidas podem atingir $\sim 450^\circ C$ (Ribeiro 2013).

3.3.4. Veios V1c

Os veios V1c são compostos por quartzo fumê e leitoso, carbonato ankerita, sericita, clorita, e minerais acessórios como pirita, pirrotita e esfalerita (Tabela 3). A ausência de arsenopirita reflete a falta de ouro nestes veios. O quartzo ocorre em sua maioria como cristais finos, poligonais, com contatos retos a suturados (tipo 2) e raros cristais de quartzo tipo 1.

Venulações de quartzo e carbonato são fortemente intercaladas por lamelas de sericita e clorita (Fig. 9F), e definem o limite das zonas de cisalhamento. Estas intercalações podem chegar a 100 metros de espessura e compõem a rocha hospedeira da mineralização aurífera. As venulações quartzo-carbonáticas V1c são orientadas segundo a foliação S_1 e podem ser tabulares, lenticulares ou dobradas. A clivagem de crenulação S_2 é bem desenvolvida nas lamelas de sericita e clorita; já nos veios a clivagem não é penetrativa, embora possa romper e deslocar localmente os mesmos. Diversas feições microestruturais são encontradas nestes veios como cauda de recristalização e sombra de pressão e estruturas tipo s-c com baixo ângulo (Fig. 9G).

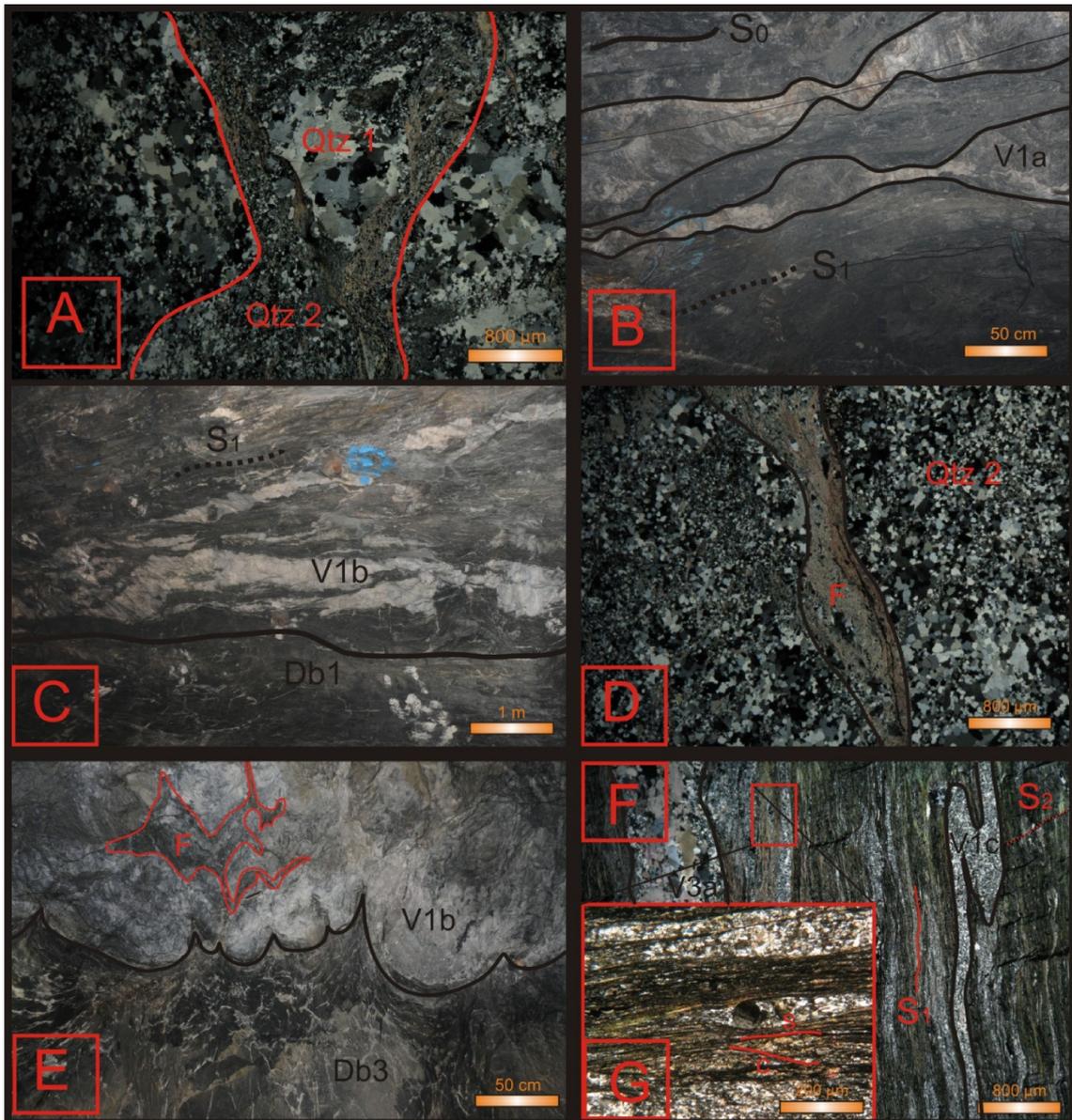


Figura 9 – Aspectos geométricos e estruturais do sistema de veio V1. A) Fotomicrografia do veio V1a com predomínio do quartzo tipo 1 (Qtz 1) em relação ao quartzo tipo 2 (Qtz 2), envolvidos pela foliação anastomosada. B) Estruturas tipo pinch and swell no veio V1a paralelo à foliação S₁, com quartzo leitoso nas bordas e necks dos boudins e quartzo fumê no núcleo – Teto da galeria de lavra, nível 628, corpo 200N no depósito Cachorro Bravo. C) Aspectos geométricos do veio V1b leitoso e maciço na borda do dique básico Db1 – Teto da galeria de lavra, nível 643, corpo 211S no depósito Cachorro Bravo. D) Fotomicrografia do veio V1b com predomínio do quartzo recristalizado tipo 2 em relação ao quartzo tipo 1 e fragmentos da rocha hidrotermalizada mineralizada (F) intercaladas no veio. E) Veio V1b em estruturas tipo pinch and swell, com fragmentos deformados de rocha hidrotermalizada mineralizada (F) – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 211N no depósito Laranjeiras. F) Fotomicrografia do veio V1c intercalado com as rochas hospedeiras. Nota-se uma dobra isoclinal fechada paralela à foliação principal, na parte direita da foto. G) Cauda de recristalização do veio V1c com porfiroclasto assimétrico de quartzo e estruturas tipo s-c.

3.3.5. Sistema de Veios V2

O sistema de veios V2 está relacionado à clivagem de crenulação S₂. É subdividido nas famílias V2a e V2b, sendo V2a relacionada à extensão oblíqua, e não hospedada em estruturas principais, e V2b veios extensionais hospedados na clivagem de crenulação S₂, ambas discordantes em alto ângulo da foliação S₁.

3.3.6. Veios V2a

Os veios V2a têm pouco ou nenhum sulfeto (pirrotita e/ou pirita; Tabela 1). O quartzo geralmente é leitoso em finos agregados cristalinos de textura maciça, enquanto o carbonato é em grande parte ankerítico (Ribeiro 2013), em cristais grossos de aproximadamente 1 cm.

São veios discordantes tanto da foliação principal (S₁) quanto da clivagem de crenulação (S₂), e

apresentam pares conjugados com direções N20W/80NE e N20W/80SW. Formados por finos veios espaçados com geometria tabular a lenticular, acham-se localmente dobrados (Fig. 10A).

3.3.7. Veios V2b

Os veios V2b são compostos por quartzo e carbonato ou apenas quartzo, e apresentam pouco ou nenhum sulfeto (Tabela 1). O quartzo é grosso (>3 cm), com contatos intergranulares suturados, extinção ondulante e alongado (Fig. 10B). Onde presente, carbonato é ankerita, em cristais > 5 cm, fibrosos a irregulares.

A família V2b está hospedada na clivagem de crenulação S_2 e possui alto ângulo em relação à foliação principal S_1 , geralmente 70° a 80° . Sua orientação média é N25E/40NW, com espessura de poucos centímetros até cinco metros. Tem texturas maciças, fibrosas ou em pente, e geometria sigmoideal, escalonada ou tabular (Fig. 10C). Os limites entre os veios e as rochas hospedeiras são nítidos e bem marcados, embora possam ser rompidos pela foliação principal conforme a Figura 10D.

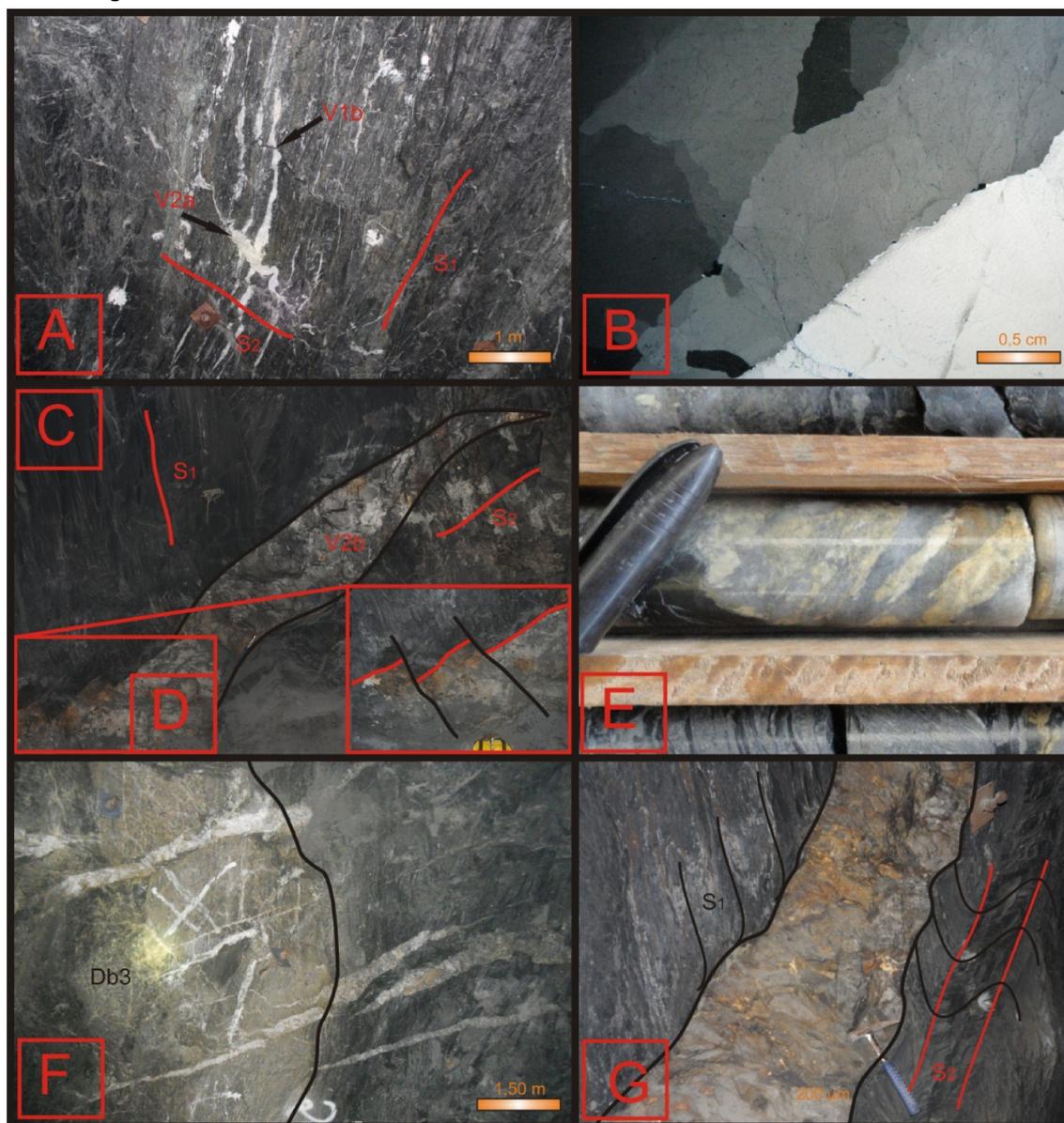


Figura 10 – Aspectos geométricos e estruturais do sistema de veio V2. A) Feições do veio V2a dobrado cortando o veio V1b – Teto da galeria de lavra, nível 658, corpo 211S no depósito Cachorro Bravo. B) Fotomicrografia do veio V2b com formato alongado e contatos irregulares. C) Feições do veio V2b com geometria sigmoideal perpendicular à foliação S_1 – Parede norte da travessa, nível 643 no depósito Cachorro Bravo D) Deslocamento da foliação com escalonamento do veio. E) Veio V2b com alternância no preenchimento do veio entre carbonato e quartzo (Furo UCS1052, metragem aproximada 62,50m). F) Estrutura tipo rock bridge no veio V2b – Teto da galeria de lavra, nível 658, corpo 315N no depósito Cachorro Bravo. G) Veio V2b preenchendo regiões de charneiras das dobras da fase D_2 – Parede norte da rampa Laranjeiras, próximo ao nível 726.

Em alguns casos, esses veios possuem crescimento mineral ortogonal ou diagonal às paredes do veio, marcados por cristais alongados de ankerita. Em veios mais espessos, até 5 metros, é possível observar-se bandamento composicional interno, marcado por faixas ricas em quartzo alternadas por faixas de carbonato (Fig. 10E).

Estrutura tipo *rock bridges* (Nicholson e Pollard 1985, Foxford *et al.* 2000) também são comuns, e consistem em placas sigmoidais ou tabulares da hospedeira que separam e sobrepõem o veio, e formam veios escalonados (*en echelon*; Fig. 10F). Veios associados a dobras são comuns e preenchem as zonas de charneira (Fig. 10G).

3.3.8. Sistema de Veios V3

O sistema V3 diferencia-se em relação a todos os outros pela estrutura hospedeira. Preenchem a clivagem de fratura das estruturas S_3 e são discordantes da foliação principal (S_1), subverticais, têm ampla distribuição espacial, e direção variando de NNW a NNE. Duas famílias de veios compõem este sistema, uma de preenchimento de clivagem de fratura e outra associada a brechas hidráulicas.

3.3.9. Veios V3a

São compostos por quartzo leitoso e poucos cristais de quartzo fumê, carbonato ankerita, esfalerita e raros sulfetos como a pirita e pirrotita (Tabela 1). O quartzo está em esparsos cristais grossos (>2 mm), com extinção ondulante e contatos intergranulares, suturados do tipo 1, e mais abundantes, finos, poligonais (<1 mm), em contatos retos, do tipo 2. É possível distinguir-se faixas do quartzo tipo 1 intercaladas com faixas do tipo 2, com o primeiro tipo no centro do veio e o segundo tipo nas bordas. O carbonato ankerita (Ribeiro 2013) varia de 0,5 mm até 5 mm; cristais grossos do carbonato são maclados e distribuem-se em faixas.

Os veios V3a são subverticais, paralelos à clivagem de fratura S_3 e discordantes da foliação principal S_1 e da clivagem de crenulação S_2 (Fig. 11A). Possuem orientação variada entre NNW a NNE, sua espessura é milimétrica a centimétrica, e mostram geometria tabular irregular. Onde os veios são mais espessos, a ankerita é grossa, fibrosa e pode crescer perpendicularmente às paredes do veio, exibindo textura em pente com crescimento sintaxial (Passchier e Trouw 2005; Fig. 11B).

3.3.10. Veios V3b

Os veios V3b contêm essencialmente (i) quartzo; (ii) fragmentos de rocha encaixante; (iii) fragmentos de veio de quartzo, e (iv) raros cristais de carbonato. Como em outros veios, o quartzo pode ser do tipo 1, com extinção ondulante, contatos suturados, alongado e com orientação preferencial, e do tipo 2, poligonal, de contato reto e < 0,5 mm. Os fragmentos de rocha hospedeira estão dispersos e contêm sericita, clorita, quartzo e raros sulfetos. Podem ser angulosos a arredondados com dimensões variáveis. Os fragmentos de veio de quartzo geralmente são arredondados, em até 10 mm; são agregados de quartzo muito fino (<0,1 mm), envoltos por lâminas de sericita.

Os veios V3b são paralelos a subparalelos à clivagem de fratura S_3 , com orientação NNW a NNE e subvertical. Possuem espessura de 1 a 10 metros, apresentam-se intercalados com a rocha hospedeira e a proporção entre veio e rocha pode variar. Diversas texturas e estruturas são associadas a estes veios, como *crack and seal*, com alternância entre finas porções de veio e de sua hospedeira, repetitivamente, *pinch and swell*, fibroso com minerais orientados perpendiculares à parede do veio, além de brechas hidráulicas (Fig. 11C). As brechas apresentam fragmentos angulosos da rocha hospedeira foliada e clastos rotacionados. A matriz é quartzosa e, localmente, tem cristais de carbonato com feições de dissolução por pressão cimentando quartzo (Fig. 11D).

3.3.11. Sistema de Veios V4

Os veios V4 possuem composição variável que depende da rocha ou veio que atravessa, podendo ser (i) quartzosos, (ii) quartzo-carbonáticos, ou (iii) carbonático-cloríticos (Tabela 3). O quartzo é alongado segundo a direção do veio, possui cristais grossos >1 mm, extinção ondulante e contatos intergranulares serrilhados. Os cristais de carbonato são grossos >5 mm, alongados, paralelos às paredes do veio, com maclas de geminação e impuros. A clorita forma fibras aciculares radiais, finas (<0,2 mm), associadas como minerais de substituição nos carbonatos (Fig. 11E).

Esses veios têm espessura de 2 mm e extensão que podem chegar até centenas de metros, geometria tabular irregular e textura maciça. São espaçados, também hospedados na clivagem de crenulação S_2 , mas diferenciam-se dos veios V2 por cortarem todos os outros sistemas de veios.

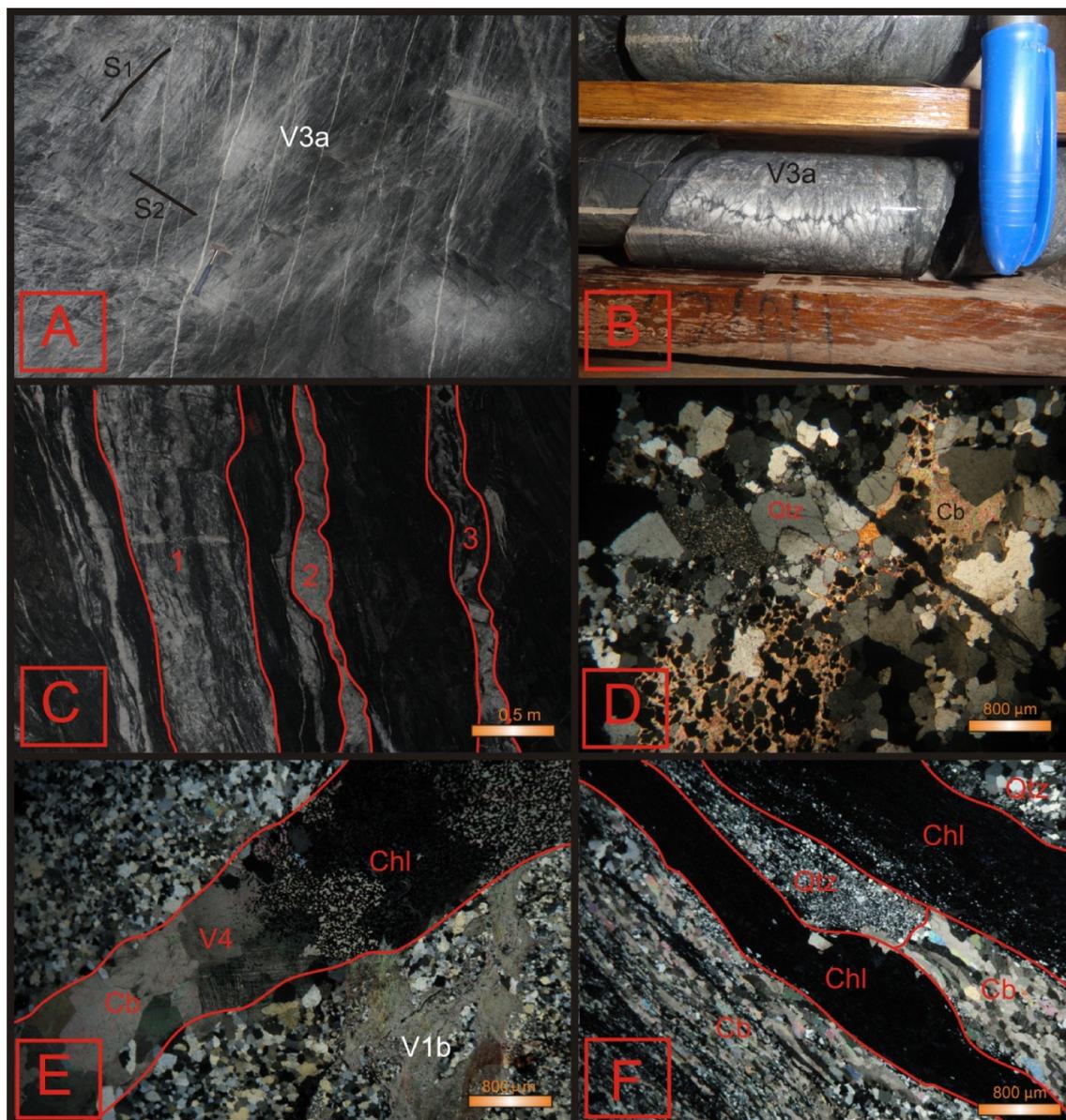


Figura 11 – Aspectos geométricos e estruturais dos sistemas de veios V3, V4 e V5. A) Veios preenchendo a clivagem de fratura espaçada (S_2), discordantes da foliação principal S_1 – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 160N no depósito Laranjeiras. B) Textura em pente do veio V3a com crescimento sintaxial (Furo UCS1258, metragem aproximada 25,00m). C) Veio V3b com diferentes estilos estruturais (1) veio com textura crack and seal; (2) veio com textura pinch and swell; (3) veio brechado com rotação dos fragmentos – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 160N no depósito Laranjeiras. D) Fotomicrografia do veio brechado (3) com matriz de carbonato e feição de dissolução por pressão. E) Veio V4 com substituição do carbonato (Cb) por cristais fibro-radiais de clorita (Chl). F) Sistema V5 com veios predominantemente quartzosos, calcíticos e cloríticos intercalados.

3.3.12. Sistema de Veios V5

Os veios V5 associam-se exclusivamente aos diques cloríticos metamáficos Db1. Têm composição variável marcada pela alternância de faixas ricas em quartzo, carbonato ou clorita (Fig. 11F). O quartzo tem cristais <3 mm, com crescimento ortogonal às paredes do veio e contatos intergranulares retos. O carbonato é calcita (Ribeiro 2013) alongada, <2 mm, paralela à parede do veio, em cristais limpos, com contatos intergranulares retos, exibindo maclas de geminação. Faixas ricas em clorita têm textura lepidoblástica, com palhetas orientadas paralelas à foliação S_1 .

Os veios V5 exibem estruturas *stockwork* com múltiplas orientações espaciais, embora possuam uma orientação subvertical preferencial NS/80E. Preenchem zonas de cisalhamento subverticais que cortam os diques Db1 subparalelas a foliação S_1 . Têm espessuras <10 cm e geometria lenticular a tabular irregular.

As inclusões fluidas em V5 são classificadas como do tipo 2, pseudosecundárias, aquosas, com $H_2O \pm NaCl$, e temperatura mínima de aprisionamento de $\sim 200^\circ C$ (Ribeiro 2013).

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

4.1. RELAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE VEIOS

Sistemas de veios de quartzo se relacionam espacialmente e temporalmente e podem formar estilos estruturais diversos. A análise estrutural destes veios permite distinguir os veios formados no mesmo incremento de deformação daqueles formados em incrementos subsequentes.

As relações temporais entre diferentes sistemas de veios podem ser estabelecidas através da análise de suas interseções, que pode ser feita de duas formas: (1) sistemática, onde um sistema de veio corta, ou é cortado por outro sistema de veio, de maneira clara e persistente pela jazida, assim estabelecendo um diferente *timing* de geração de veios, ou (2) conflitante, onde um sistema de veio corta e é cortado pelo mesmo sistema de veio em diferentes pontos da jazida. Estas relações conflitantes de corte sugerem uma contemporaneidade entre os veios (Robert e Poulsen 2001).

Diversas feições de corte entre veios são

observadas nos depósitos Cachorro Bravo, Laranjeiras e Carvoaria. Os veios V1 e V2 apresentam relações de corte conflitante, apesar de na maior parte dos depósitos os veios V2 cortarem os V1 (Fig. 10A), entretanto, localmente os veios V2 são cortados ou se desenvolvem a partir dos V1 (Fig. 12A). Esta relação entre os veios mostra a contemporaneidade parcial entre os sistemas V1 e V2.

Já os veios V3 apresentam relações de corte sistemáticas em todos os três depósitos, pois cortam os veios V1 e V2 (Fig. 12B), indicando que V3 foram formados posteriormente aos veios V1 e V2. A estrutura hospedeira dos veios V3 também é discordante das estruturas principais, como a foliação S_1 e a clivagem de crenulação S_2 .

Os veios V4 representam a última geração de veios nas rochas metassedimentares e nos diques e soleiras com alteração carbonática (Db3). Possuem relações de corte sistemáticas e cortam os veios V1, V2 e V3. Estão amplamente distribuídos e, embora hospedados na clivagem de crenulação S_2 , cortam os veios V3 (Fig. 12C).

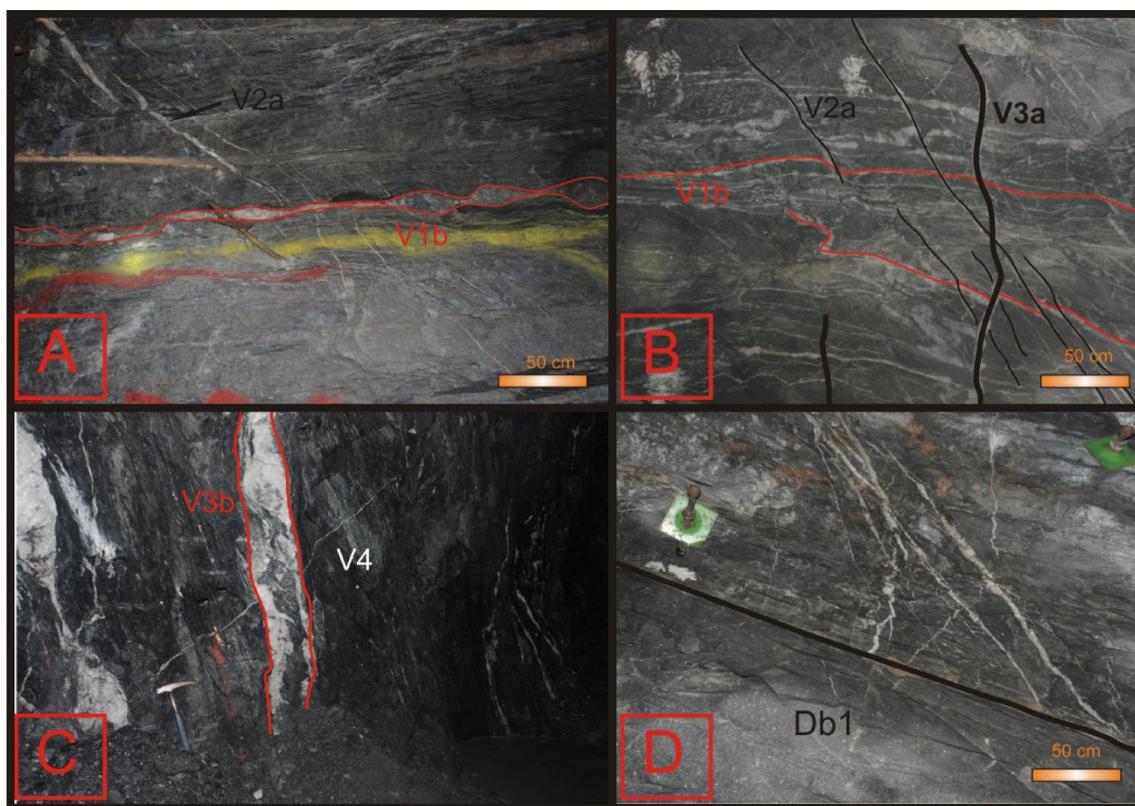


Figura 12 – Relações de corte entre os veios V1, V2, V3 e V4. A) Veio V1 cortando o veio V2 – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 130N no depósito Laranjeiras. B) Stockwork em metagrauvas com as relações de corte entre os veios V3 e V1 e V2 – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 110S no depósito Laranjeiras. C) Relação de corte entre os veios V4 e V3 – Parede da galeria de lavra, nível 696, corpo 160N no depósito Laranjeiras. D) Contato entre as rochas metassedimentares e o dique Db1, no depósito Cachorro Bravo. Nota-se que o dique Db1 é posterior à colocação dos veios V2 e V3 – Parede da travessa 643, acesso ao corpo 313N no depósito Cachorro Bravo.

Os veios V5, restritos aos diques cloríticos Db1, não são observados cortando os veios hospedados nas rochas metassedimentares e, portanto, não é possível inferir sua relação cronológica. Os veios V1 a V4 não cortam os diques Db1, o que indica que a colocação dos diques foi posterior à V1 a V4 (Fig. 12D). O desenho esquemático da Figura 13 representa os sistemas de veios, suas relações angulares e de corte.

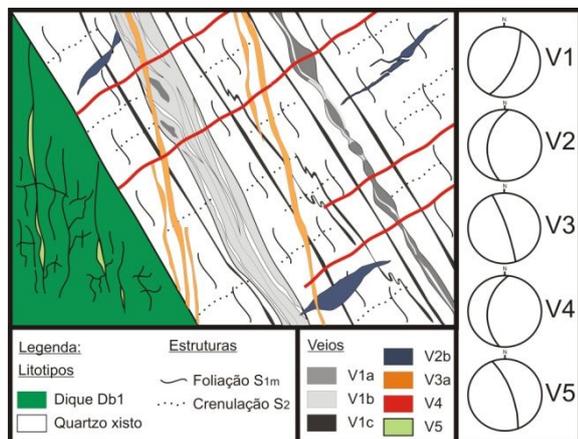


Figura 13 – Representação esquemática dos sistemas de veios, suas relações temporais e as relações angulares representadas em projeção estereográfica.

4.2. INTERPRETAÇÃO DA EVOLUÇÃO GEOLÓGICA DA ÁREA

A classificação de sistemas de veios baseada na análise das estruturas hospedeiras, composição mineralógica e relação de corte permite correlacioná-los temporalmente e estabelecer uma possível evolução geológica. Além dos veios, diques também são bons marcadores cronológicos (Robert e Brown 1986).

Dois tipos de cristais de quartzo ocorrem nos veios V1 a V4; tipo 1 - com granulação média a grossa, contatos intergranulares saturados e extinção ondulante, considerados cedo hidrotermal (Fig. 9A), e o tipo 2 com granulação fina a média, contatos retos e poligonais (Fig. 9A). Devido a deformação formam-se subgrãos do quartzo tipo 2, principalmente nos contatos com o quartzo tipo 1, pela recristalização dinâmica.

A variação da razão fluido/rocha gera zonas de alteração hidrotermal (Reed 1997), que pode ser inferida através da presença de diferentes padrões de alteração hidrotermal. O sistema de veio V1, representado por V1a, V1b e V1c, ricos em sulfetos e sulfossais, está diretamente associado à mineralização aurífera e a alteração hidrotermal, sendo que os veios V1a e V1b representam canais ao longo de fraturas onde fluidos hidrotermais percolaram, e formam a zona de infiltração/fluxo de fluido (Fig. 14). Halos de dispersão adjacentes, V1c,

se formam através das reações de substituição entre o fluido e a rocha encaixante, e são denominados como zona de dispersão do fluido (Fig. 14).

Veios V1a possuem quantidades maiores de quartzo tipo 1 em relação ao quartzo tipo 2, e está associado a *necks* e borda de *boudins* (Fig. 9B). Para os veios V1b há um predomínio do quartzo tipo 2 em relação ao tipo 1. Portanto, é possível relacionar o quartzo tipo 1 ao quartzo fumê e o quartzo tipo 2 ao quartzo leitoso recristalizado.

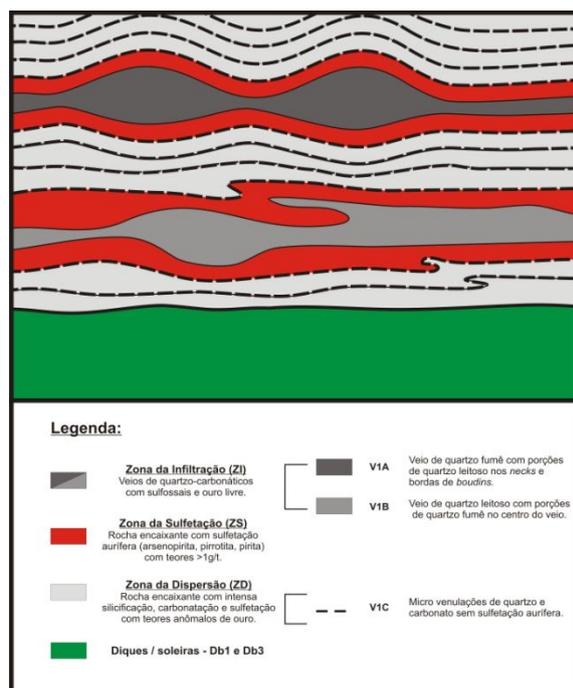


Figura 14 – Representação esquemática do sistema de veios V1, representados pelos veios V1a, V1b e V1c, e suas relações com a alteração hidrotermal e as rochas encaixantes.

A presença de pirrotita nas bordas dos diques e soleiras e nos veios de quartzo leitoso, V1b, reforça a hipótese de que temperaturas localmente mais altas foram atingidas próximo aos diques, o que é de fato indicado pelo estudo das inclusões fluidas de Ribeiro (2013). Portanto, as intrusões dos diques e soleiras Db1 e Db3 teriam aquecido as zonas hidrotermais ativas alterando localmente a temperatura dos fluidos e transformando a pirita em pirrotita, o que de fato explicaria a transformação do quartzo fumê dos veios para quartzo recristalizado, leitoso, além da recristalização dinâmica em si do quartzo fumê.

O sistema de veio V1 (Fig. 9) é classificados como de preenchimento de falha (*fault-fill veins*; Robert e Poulsen 2001), pois possuem quartzo laminado, lineação de estiramento e fragmentos de rocha hospedeira paralelos a margem do veio. Apresentam características pré- a sin-deformacionais, pois são

paralelos a subparalelos à foliação regional S_1 (Fig. 13).

Veios do sistema V2 (Fig. 10) são classificados como extensionais (*extensional veins*), pois possuem crescimento mineral ortogonal às paredes dos veios. Devido às relações conflitantes de corte entre os veios V1 e V2, à paralelização entre as estruturas S_1 e as relações angulares entre eles, é possível relacionar estes dois sistemas como pares geneticamente e temporalmente associados, embora não estejam mineralizados.

Já o sistema de veios V3, discordantes de V1 e V2, possuem orientação NNW-SSE e subdividem-se em duas famílias, V3a e V3b. Esse sistema possui estruturas em pente, como textura *open space filling*, e crescimento mineral ortogonal às paredes do veio e, portanto, são veios extensionais (*extensional veins*; Fig. 11 A-D). Veios V3b têm estruturas *pinch and swell*, *crack and seal*, dissolução por pressão e brechas, podendo deslocar veios mineralizados V1. Veios V3 apresentam estruturas formadas em ambiente dúctil-rúptil (Vearncombe 1993) e provavelmente representam condições de formação mais rasas que os veios V1 e V2.

Embora também hospedado na clivagem de crenulação S_2 , o sistema de veios V4 possui composição diferente do V2 e corta a sequência de veios V1, V2 e V3 (Fig. 13). Podem ser interpretados com veios extensionais (*extensional veins*) e, devido à substituição do carbonato pela clorita, podem representar a hidratação do sistema e o relaxamento dos campos de tensão.

O sistema de veio V5 é restrito ao dique Db1 e possui inclusões fluidas distintas dos outros veios. A temperatura mínima de aprisionamento é de 200°C e sua colocação foi em ambiente raso com influência de águas meteóricas (Ribeiro 2013).

Os dados geocronológicos Pb-Pb disponíveis para a mineralização em Córrego do Sítio, segundo David (2006), fornecem idades de 2,1 Ga, o que de fato é questionado devido a grande presença de chumbo nas rochas sedimentares, fornecendo idades de um possível retrabalhamento do sistema. Para a construção da Figura 15, os autores utilizam a datação pelo método U-Pb em monazitas hidrotermais associadas a sulfetos auríferos no depósito Cuiabá em torno de 2,67 Ga (Lobato et al. 2007). Embora esteja num bloco distinto do SGRV, esta datação é mais robusta devido ao método.

A semelhança entre a mineralogia e as inclusões fluidas nos veios V1 a V3 sugerem evolução do fluido hidrotermal e do *greenstone belt* Rio das Velhas em

estágios progressivos, com mudanças das tensões principais da fase inicial até a fase tardia (Robert e Brown 1986).

No caso do *greenstone belt* Rio das Velhas, as duas gerações de diques, Db1 e Db3, marcam dois períodos de atividade magmática. A fase inicial, pré a sin-deformacional, é marcada pela colocação do Db3, pois os veios V1 a V3 cortam os mesmos, e indicam que é possível que estes diques representem dutos e canais que alimentaram derrames basálticos (De Wit e Ashwal 1997). Esta colocação estaria relacionada a períodos de paralisação das forças compressoriais. Já os diques Db1 marcam o período tardi- a pós-deformacional de magmatismo do *greenstone*, pois os veios V1 a V4 não cortam os mesmos. São diques tardios, colocados em ambiente relativamente mais raso e relacionados à estabilização do SGRV.

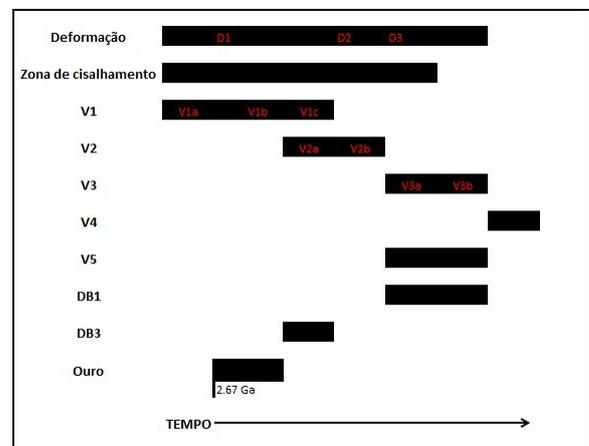


Figura 15 – Representação esquemática da formação dos sistemas de veios e dos diques e soleiras metamórficas em relação à deformação, à formação das zonas de cisalhamento e da mineralização aurífera.

A compressão NW-SE, relacionada à formação da foliação S_1 , falhas de empurrão com transporte para NW e zonas de cisalhamento dúctil dextrais (S_{1m}), formaram os veios mineralizados V1. A esta compressão é atribuído um estágio deformacional progressivo com a paralelização das estruturas no plano da foliação S_1 em ambiente dúctil-rúptil. Um estágio tardio é registrado através dos veios V3, que apresenta estrutura discordante, orientação N-S, e feições de formação em ambientes mais rasos. A colocação dos diques Db1 é tardia em relação à formação dos veios V3, embora possua semelhante orientação e estruturas características de ambientes rasos.

5. AGRADECIMENTOS

Expressamos nossa gratidão à empresa AngloGold Ashanti Córrego do Sítio S/A pela oportunidade e financiamento deste trabalho e, em especial, aos geólogos e técnicos das minas pelo

apoio, logística e discussões. Parte dos trabalhos foram financiados pelo CNPq. Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Geologia do IGC-UFMG pelo apoio durante o Mestrado do primeiro autor. LML e CAR são detentores de bolsa de pesquisa do CNPq. Nosso muito obrigado ao colega Yuri Ribeiro pelas discussões. Os autores agradecem aos revisores Atlas Corrêa Neto e Luiz Cláudio Lima pelas contribuições ao manuscrito.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGABM, 2012. AngloGold Ashanti Annual Integrated Report 2012. Disponível em: <http://www.aga-reports.com/12/>
- Abreu A.S., Diniz H.B., Prado M.G.B. & Santos S.P. 1988. Mina de ouro de São Bento, Santa Bárbara, Minas Gerais. In: Schobbenhaus C. & Coelho C.E.S. eds. Principais Depósitos Mineraiis do Brasil: Metais Básicos Não-Ferrosos, Ouro e Alumínio. Brasília, DNPM-CVRD, v.3, p. 393-411.
- Adams S.F. 1920. A microscopic study of vein quartz. *Econ. Geol.*, 15:62-664.
- Baltazar O.F., Silva S.L. 1996. Projeto Rio das Velhas: Mapa Geológico Integrado do Supergrupo Rio das Velhas, escala 1:100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM—Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte.
- Baltazar O.F., Zucchetti M. 2007. Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. *Ore Geol. Rev.*, 32:471-499.
- Canale A.L. 1999. Geologia do Depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG), e Caracterização Mineralógica do Minério Sulfetado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 142 p.
- Chemale Jr. F., Rosière C.A., Endo, I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precamb. Res.*, 65: 25-54.
- David M.E.V. 2006. Composição isotópica de Pb, Sr e Nd da mineralização de ouro do Depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (M.G.): implicações na modelagem conceitual. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 76 p.
- De Wit M. & Ashwal L.D. 1997. *Greenstone Belts*. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 35, Oxford University Press, 809 pp.
- Dorr II J.V.N., Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G.A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero, Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Fomento da Produção Mineral, Avulso vol. 81, 31 p.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 614-A. 110 p.
- Dowling K. & Morrison G. 1989. Application of quartz textures to the classification of gold deposits using north Queensland examples. *Econ. Geol. Monogr.*, 6:342-355.
- Foxford, K.A., Nicholson, R., Palra, D.A., and Hebblethwaite, R.B.P. 2000. Extensional failure and hydraulic valving at Minas da Panasqueira, Portugal: Evidence from vein spatial distributions, displacements, and Geometries. *Jrnl. of Struct. Geol.*, 22:1065-1086.
- Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F., 1998. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol. Rev.*, 13:7-27.
- Junqueira, P.A., Lobato, L.M., Ladeira, E.A., Simões, E.J.M. 2007. Structural control and hydrothermal alteration at the BIF-hosted Raposos lode-gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 32: 629-650.
- Kister A.F.M., Meyer F.M., Znamensky S.E., Seravkin I.B., Ertl R.G.W., Kosarev A.M. 2000. Structural controls of lode-gold mineralization by mafic dykes in late-Paleozoic granitoids of the Kochkar district, southern Urals, Russia. *Mineralium Deposita*, 35:157-168.
- Ladeira E.A. 1980. Metallogenesis of gold at the Morro Velho Mina and in the Nova Lima District, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Tese de Doutorado. University of Western Ontario. 272 p.
- Ladeira E.A. 1991. Genesis of gold in Quadrilátero Ferrífero: a remarkable case of permanency, recycling and inheritance - a tribute to Djalma Guimaraes, Pierre Routhier and Hans Ramberg. In: E.A. Ladeira (ed.) *Proceedings of GOLD'91, the Economics, Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits*. Rotterdam, A.A. Balkema, 11-30.
- Lima L.C. 2012. Depósito lode Au-As-Sb Laranjeiras, em metaturbitos do Grupo Nova Lima, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 306 p.
- Lobato L.M., Vieira F.W.V., Rodrigues L.C.R., Pereira L.M.M., Menezes M., Junqueira P.P., Martins S. 1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part I, description of selected gold deposits. *Rev. Bras. Geoc.*, São Paulo, 28:339-354.
- Lobato L.M., Vieira F.W.R. 1998. Styles of hydrothermal alteration and gold mineralization associated with the Nova Lima Group of the Quadrilátero Ferrífero: Part II, the Archean mesothermal gold-bearing hydrothermal system. *Rev. Bras. Geoc.*, 28: 355-366.
- Lobato L.M., Ribeiro-Rodrigues L.C., Vieira F.W.R. 2001a. Brazil's premier gold province: Part II. Geology and genesis of gold deposits in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*, 36: 249-277.
- Lobato L.M., Ribeiro-Rodrigues L.C., Costa M.N.S., Martins R., Lehne E., Alves J.V., Tassinari C.G., Vieira F.W.R., Biasi E.E., Figueiredo e Silva R.C., Pereira V.C.A., Noce C.M. 2001c. Geologia do depósito de ouro Cuiabá, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: Jost H., Brod J.A., Queiroz E.T. de (eds.), *Depósitos Auríferos em Distritos Mineiros Brasileiros*. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) / Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira (ADIMB), 3-77.
- Lobato L.M., Santos J.O.S, McNaughton N.J., Fletcher I.R., Noce C.M. 2007. U-Pb SHRIMP monazite ages of the giant Morro Velho and Cuiabá gold deposits, Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 32:674-680.
- Machado N., Noce C.M., Ladeira E.A., Belo de Oliveira O.A. 1992. U-Pb geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco Craton, Brazil. *Geol. Soc.*, 104:1221-1227.
- Martins B.S., Rosière C.A., Lobato L.M., Figueiredo e Silva R.C., Baars F.J., Tschiedel M.W., Oliveira H., Penha U.C. 2011. Mineralization control of the Lamego Gold Deposit, Sabará, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: *Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA) Biennial Meeting, 11th, Proceedings, Antofagasta, Chile*.

- Martins S.L.P. 1995. Controles litoestruturais da mineralização aurífera no distrito de Santa Bárbara, Quadrilátero Ferrífero, MG: Mina São Bento. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 158 p.
- Martins-Pereira S.L.M., Lobato L.M., Ferreira J.E., Jardim E.C. 2007. The BIF-hosted São Bento gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 32: 571-595.
- Nicholson R. & Pollard D. D. 1985. Dilation and linkage of echelon cracks. *Jour. of Struct. Geol.*, 7:583-590.
- Noce C.M., Zucchetti M., Baltazar O.F., Armstrong R., Dantas E., Renger F.E., Lobato L.M. 2005. Age of felsic volcanism and the role of ancient continental crust in the evolution of the Neoproterozoic Rio das Velhas Greenstone belt (Quadrilátero Ferrífero, Brazil). U-Pb zircon dating of volcanoclastic graywackes. *Precamb. Res.*, 141:067-082.
- Passchier C.W. & Trouw R.A.J. (Eds.) 2005. *Microtectonics*. 2nd edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 366 pp.
- Pflug R. & Renger F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem do Craton Sanfranciscano. - 27. Congr. Bras. Geol., Anais, vol. 2, p. 5-19.
- Porto C.G. 2008. A mineralização aurífera do depósito Córrego do Sítio e sua relação com o enxame de diques metamórficos no corpo Cachorro Bravo, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Instituto Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 117 p.
- Reed M.H. 1997. Hydrothermal alteration and its relationship to ore fluid composition. In H.L. Barnes, *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, John Wiley, pp. 303-66.
- Ribeiro-Rodrigues L.C., Oliveira C.G. de, Friedrich G. 2007. The Archean BIF-hosted Cuiabá Gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 32: 543-570.
- Ribeiro Y. 2013. Estudo de inclusões fluidas e isótopos de oxigênio e enxofre em veios de quartzo-carbonato-sulfetos do depósito Carvoaria Velha, lineamento aurífero Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 103 p.
- Robert F. & Brown A.C. 1986. Archean Gold-Bearing Quartz Veins at the Sigma Mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: Part I. *Geologic Relations and Formation of the Vein System. Econ. Geol.*, 81:578-592.
- Robert F. & Poulsen K.H. 2001. Vein Formation and Deformation in Greenstone Gold Deposits. *Soc. of Econ. Geol. Rev.*, 14:111-155.
- Romano R., Lana C., Alkimin F. F., Stevens G., Armstrong R. 2013. Stabilization of the southern portion of the Sao Francisco craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precamb. Res.*, 224:143-159.
- Schorscher H.D. 1978. Komatiitos na estrutura "Greenstone Belt" Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. 30^o Congresso Brasileiro de Geologia. Soc. Bras. Geol., Recife, pp. 292-293.
- Teixeira W., Carneiro M.A., Noce C.M., Machado N., Sato K., Taylor P.N. 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archean evolution of gneissic-granitoid complexes in the southern São Francisco craton, Brazil. *Precamb. Res.*, 78:151-164.
- Vearncombe J.R. 1998. Shear zones, fault networks, and Archean gold. *Geology*, 26(9):855-858.
- Vearncombe J.R. 1993. Quartz vein morphology and implications for formation depth and classification of Archean gold-vein deposits. *Ore Geol. Rev.*, 8:407-424.
- Vial D., Dewitt E., Lobato L. M., Thormann C.H. 2007. The geology of the Morro Velho gold deposit in the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Ore Geol. Rev.*, 32:511-542.
- Vieira F.W.R. & Oliveira G.I. 1988. Geologia do distrito aurífero de Nova Lima, Minas Gerais. In: C. Schobenhau-Filho, C.E.S. Coelho (eds) *Metais básicos não ferrosos, ouro e alumínio. Principais depósitos minerais do Brasil 3*. DNPM/CVRD, Brasília, Brasil, p. 377-391.
- White W.H. 1943. The mechanism and environment of gold deposition in veins. *Econ. Geol.*, 38:512-531.
- Zucchetti M., Baltazar O.F., Raposo F.O. 1996. Estratigrafia. Apud: CPRM. Projeto Rio das Velhas – Texto explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Belo Horizonte, Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM – Serviço Geológico do Brasil, pp. 13-42.