



**Alteração Hidrotermal em Zona de Cisalhamento Associada ao  
Lineamento Congonhas, Sul do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**  
Hydrothermal Alteration in a Shear Zone Associated to the  
Congonhas Lineament, Southern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais

Atlas Vasconcelos Corrêa Neto<sup>1</sup>; Antônio Modesto de Almeida<sup>2</sup>;  
Vitor Caputo Neto<sup>3</sup> & Júlia Campos Guerrero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia.  
Athos da Silveira, 274 (prédio do CCMN), bloco G, Campus Ilha do Fundão (Cidade Universitária), 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ

<sup>2</sup> IAMGOLD Brasil Ltda.

Rua Fernandes Tourinho, 147 sala 902, 30112-000, Belo Horizonte, MG.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia.  
Athos da Silveira, 274 (prédio do CCMN), bloco G, Campus Ilha do Fundão (Cidade Universitária), 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ.  
E-mails: correa.neto@geologia.ufrj.br; modesto@iamgold.com.br; vitor\_caputo@yahoo.com.br

Recebido em: 07/02/2012      Aprovado em: 15/03/2013

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2012\\_2\\_55\\_64](http://dx.doi.org/10.11137/2012_2_55_64)

## Resumo

O Lineamento Congonhas hospeda lavras inativas de ouro que datam Século XVIII, sendo composto por zonas de cisalhamento SE-NW escalonadas e anastomosadas com mergulhos fortes a subverticais para NE, de movimentação oblíqua (sinistral reversa). A alteração hidrotermal se concentrou em zonas de cisalhamento dúcteis a dúctil-rúpteis controladas por contrastes litológicos (BIFs e metapelitos intercalados a metabasaltos). A alteração carbonática é a mais volumosa, ocorrendo do núcleo até as bordas da região hidrotermalisada. Zonas de cloritização e sericitização se seguem, circundando um núcleo de silicificação e sulfetação. Grunerita e stilpnomelana ocorrem nos BIFs, tanto nas proximidades das zonas de sulfetação quanto em suas partes mais externas. As zonas de sulfetação são formadas por halos externos onde a pirrotita é o sulfeto dominante, seguindo-se zonas intermediárias com pirita, calcopirita e pirrotita. No núcleo das zonas sulfetadas predomina a arsenopirita. É possível que a mineralização aurífera do Lineamento Congonhas seja Proterozoica e não Arqueana, caso a porção estratigráfica inferior e mineralizada do cinturão metavulcanossedimentar seja de idade Sideriana, como a superior.

**Palavras-Chave:** Quadrilátero Ferrífero; ouro; cinturão metavulcanossedimentar; Proterozoico

## Abstract

Several gold works dating back from the XVII Century are located over the Congonhas Lineament, a NW-trending steep NE-dipping regional structure composed by oblique slip (left-lateral reverse) en-echelon anastomosing shear zones. Hydrothermal alteration was concentrated on ductile to ductile-ruptile shear zones controlled by rheologic contrasts. Carbonatic alteration is widespread, surrounding chloritization and sericitization zones which envelop cores with silica and sulfide alteration. Grunerite and stilpnomelane are present in BIFs close to the outer boundaries of the sulfide zones. The sulfide zone has an outer halo where pyrrhotite is the dominant sulfide, followed by an intermediate zone with pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite. At the nuclei, arsenopyrite is the most common sulfide. If the age of the lower (and mineralised) section of the metavolcanossedimentary belt is Siderian, as its upper part, then gold mineralizations at Congonhas Lineament are Proterozoic instead of Archean.

**Keywords:** Quadrilátero Ferrífero; gold; metavolcanossedimentary belt; Proterozoic

## 1 Introdução e Objetivos

Diversas ocorrências auríferas são conhecidas ao longo do Lineamento Congonhas (Seixas, 1988), localizado no sul do Quadrilátero Ferrífero (Figura 1). Do século XVII ao XIX a região entre as cidades de Itaverava e Congonhas do Campo foi produtora de ouro, com diversas minas a céu aberto e subterrâneas (Ex.: Passagem de Gagé, Morro de Santo Antônio; Eschwege, 1833). Mais recentemente, no final do século XX e início do XXI, a região foi alvo de campanhas de pesquisa mineral para ouro por diversas empresas porém existe notável carência de dados disponíveis sobre os tipos de mineralização aurífera presentes no Lineamento Congonhas a alteração hidrotermal associada e seus controles litológicos e estratigráficos.

Esta contribuição apresenta novos dados sobre as mineralizações associadas ao Lineamento Congonhas, os quais foram obtidos durante trabalhos de pesquisa mineral pela IAMGOLD Brasil Ltda. e pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Espera-se

assim aumentar a quantidade de dados disponíveis sobre as mineralizações auríferas do Quadrilátero Ferrífero, em especial sua região sul.

## 2 Metodologia

Os dados aqui apresentados foram obtidos através de mapeamento geológico de superfície em escalas 1:25.000 a 1:5.000 e a partir da descrição de testemunhos de sondagem diamantada. Amostras de regiões hidrotermalizadas foram coletadas a partir dos testemunhos e examinadas em microscópio petrográfico utilizando-se luz refletida e transmitida.

## 3 Geologia Regional

O Quadrilátero Ferrífero (Figura 1) se situa no extremo sul do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977), sendo composto por terrenos granito-gnáissicos Arqueanos e Paleoproterozoicos, rochas metavulcanossedimentares pertencentes ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Neoarqueano)

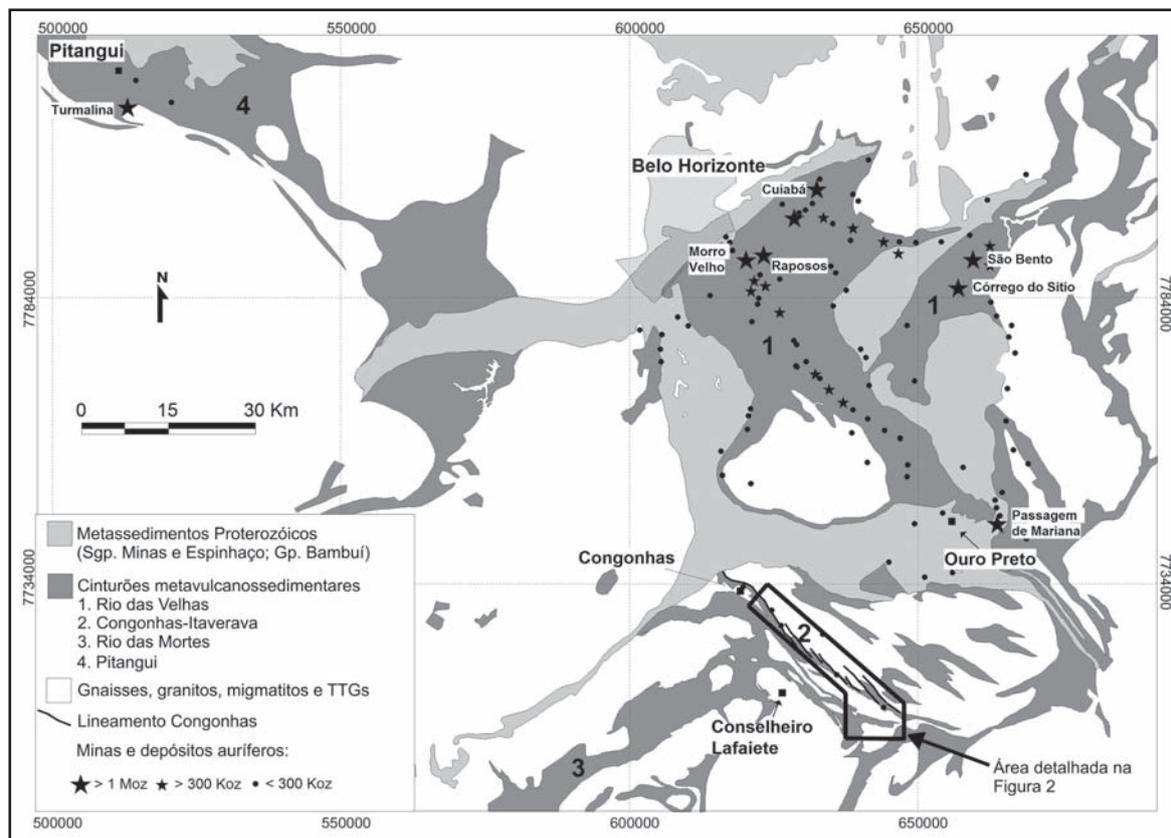


Figura 1 Geologia simplificada do Quadrilátero Ferrífero, com localização do Lineamento Congonhas e do cinturão metavulcanossedimentar Congonhas-Itaverava e dos principais depósitos e ocorrências de ouro, com estimativa de conteúdo metálico. Baseado em Dorr (1969) e interpretações de imagens de levantamento aerogeofísico (K-Th-U CODEMIG). Moz: milhões de onças de Au (dados DNPM).

e rochas metassedimentares clásticas-químicas Siderianas do Supergrupo Minas (Dorr II, 1969; Chemale Jr. *et al.*, 1994; Alkmin & Marshak, 1998). O Quadrilátero Ferrífero é uma região polideformada, registrando três eventos orogênicos: Rio das Velhas (2,75-2,65Ga, compressão de NE para SW; Baltazar & Zucchetti, 2007), Transamazônico (~2,1Ga, compressão de SE para NW) e Panafricano-Brasileiro (~0,6-0,5Ga, compressão de E para W) (Chemale Jr. *et al.*, 1994; Alkmin & Marshak, 1998; Lobato *et al.*, 2007; Noce *et al.*, 2007).

A faixa de rochas metavulcanossedimentares que se estende entre as cidades de Itaverava e Congonhas (cinturão metavulcanossedimentar Congonhas-Itaverava, cmCI, Corrêa Neto *et al.*, 2011, Figuras 1 e 2) é geralmente tida como correlacionável ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas, que aflora 10 a 40 km a norte, no interior do Quadrilátero Ferrífero (Guild, 1957; Dorr *et al.*, 1957; Seixas, 1988; Seixas & Baars, 1991; Zucchetti *et al.*, 1996; Baltazar & Zucchetti, 2007), sendo portanto considerada como sendo de idade Neoarqueana. Pires (1977) e

Barbosa (1985) consideram o cmCI como parte de outra faixa metavulcanossedimentar, o *Greenstone Belt* Barbacena, também então considerado como sendo de idade Arqueana. Ávila *et al.* (2003, 2006), separaram *Greenstone Belt* Barbacena em dois cinturões, um dos quais (*Greenstone Belt* Rio das Mortes, localizado a norte da cidade de São João del Rei), de acordo com mapas geológicos regionais, unir-se ia ao cmCI a noroeste de Congonhas do Campo. Ávila *et al.* (2006) reportaram idades Paleoproterozóicas (Riácianas) para o *Greenstone Belt* Rio das Mortes.

A sudoeste do cmCI predominam rochas ígneas e metamórficas relacionadas aos ortognaisses do Cplx. Alto Maranhão e as intrusivas do granitóide Congonhas. A nordeste do cinturão, além de complexa intercalação tectônica de rochas supracrustais metamáficas e metaultramáficas com granitos e gnaisses ocorrem também as rochas intrusivas máficas-ultramáficas do Cplx. Monsenhor Isidro (Guild, 1957; Seixas, 1988, Heineck *et al.*, 2003).

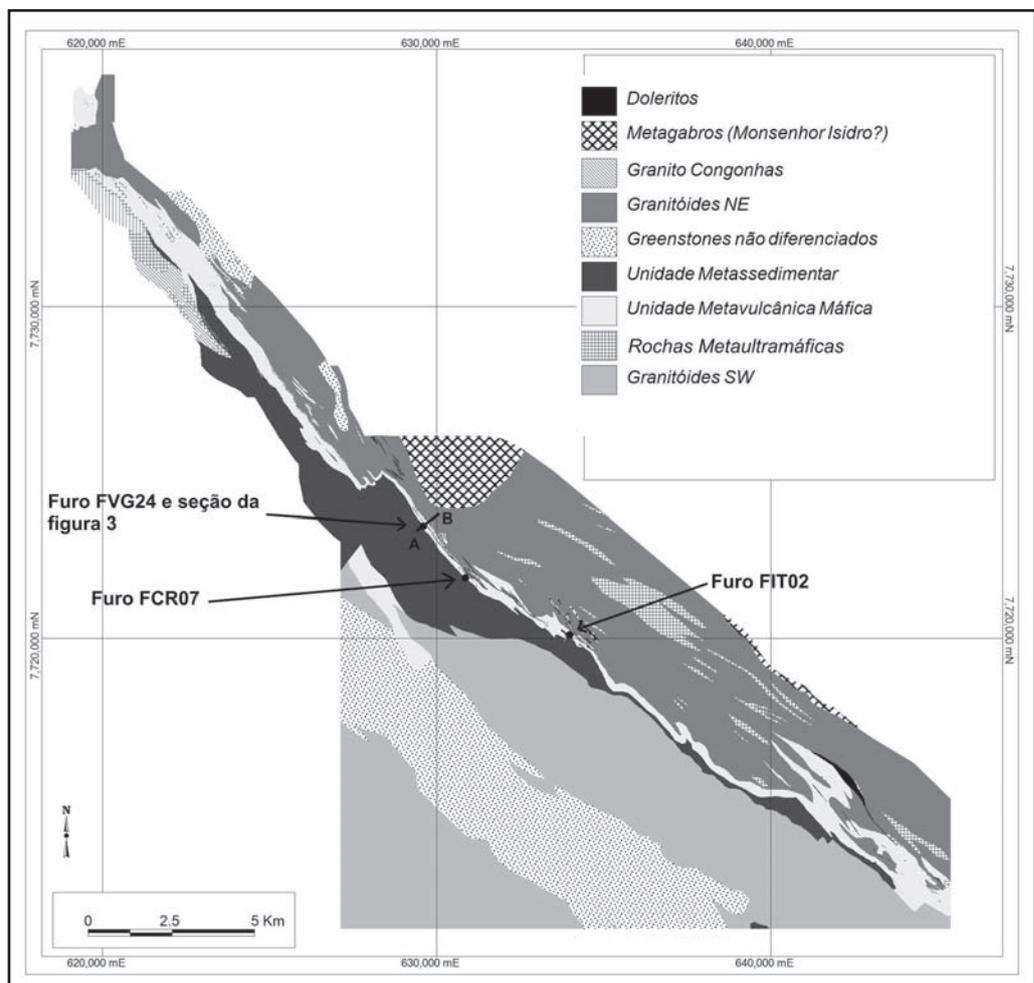


Figura 2 Mapa geológico simplificado de parte do cinturão metavulcanossedimentar Congonhas-Itaverava, com localização dos furos de sonda utilizados no presente trabalho.

### 3.1 Mineralizações Auríferas no Quadrilátero Ferrífero

As maiores mineralizações auríferas do QF (ex.: Cuiabá, Raposos, Morro Velho, São Bento) estão hospedadas em rochas do *Greenstone Belt* Rio das Velhas e são datadas de  $2,67 \pm 0,014$  Ga (Lobato *et al.*, 2007; Noce *et al.*, 2007). Essas mineralizações são classificadas como do tipo ouro orogênico (Grover *et al.*, 1998; 2003; Goldfarb *et al.*, 2001) e suas rochas encaixantes são BIFs e metavulcânicas máficas e félsicas (Lobato *et al.*, 2001). Segundo David (2006) a mineralização aurífera da mina Córrego do Sítio, também do tipo orogênico, hospedada em metagrauvas turbidíticas do *Greenstone Belt* Rio das Velhas, teria idades entre 2,2 e 2,0Ga, enquanto a mineralização aurífera da Mina da Passagem, hospedada em BIFs Siderianos do Sgp. Minas, é Brasileira para Chauvet *et al.* (1994, 2001) e Transamazônica para Vial *et al.* (2007) e Cabral & Koglin (2011).

Em metaconglomerados da Fm. Moeda (Sgp. Minas), são conhecidos depósitos de pequeno porte do tipo Witwatersrand, interpretados como paleoplacers (Garayp *et al.*, 1991; Koglin *et al.*, 2010) ou depósitos hidrotermais (Pires, 2005).

Mineralizações de ouro paladiado caracterizadas pela ausência de sulfetos estão hospedadas em BIFs do Sgp. Minas, tendo idade Brasileira (Cabral *et al.*, 2006).

## 4 Geologia Local

### 4.1 Litoestratigrafia

Os terrenos granito-gnáissicos nordeste (GGNE) são formados por rochas granitóides, gnáissicas e migmatíticas ortoderivadas. Idades de cristalização de  $2966 \pm 7$ Ma e  $2981 \pm 17$ Ma (U-Pb via SHRIMP em zircão) foram obtidas para metagranodioritos do GGNE (Santos, 2009; Corrêa Neto *et al.*, 2011).

O registro estratigráfico do cmCI inicia-se com a *unidade metavulcânica máfica* (UMM), composta por metabasaltos toleíticos de alto Fe, ocorrendo em menor volume toleitos de alto Mg, basaltos komatiíticos e komatiitos (Correa Neto *et al.*, 2011).

A parte basal da UMM tem maior abundância de rochas metaultramáficas e é separada das outras porções por importante nível guia composto por mármores, metapelitos carbonosos e BIFs fácies

óxido. Esse nível-guia pode estar em contato com os GGNE e acima dele predominam metabasaltos. Mais para o topo há níveis de BIFs e metacherts.

A *unidade metassedimentar superior* (UMS) (Figura 2) é de caráter clástico, sendo composta por metapelitos carbonosos e metagrauvas organizados em ciclos turbidíticos decimétricos. Datações em zircão detríticos (Santos, 2009; Corrêa Neto *et al.*, 2011) forneceram idade máxima de sedimentação de 2,3 Ga, porém a maior moda da idade varia entre 2,8Ga e 2,9Ga.

*Rochas metaultramáficas* (RUM) são abundantes nos setores a NE do cmCI (Figura 2), em meio aos GGNE. Jost *et al.* (1987) descrevem a presença de texturas tipo *spinifex* nessas rochas, que serão tidas como correlacionadas à base da UMM.

As rochas mais recentes são diques (Figuras 2 e 3) doleríticos ou microgabróicos porfiríticos (fenocristais de plagioclásio euédricos a subédricos com até 5cm). Esses diques não são deformados e se concentram no Lineamento Congonhas.

### 4.2 Estruturas

O cmCI está estruturado internamente como um sinclínio (Shinzato & Ribeiro, 2010; Corrêa Neto *et al.*, 2011) onde flancos nordeste e sudoeste apresentam mergulhos fortes, sendo que o flanco nordeste é caracterizado pelas zonas de cisalhamento do lineamento Congonhas (Figuras 2 e 3). A feição planar mais evidente no contato nordeste é a foliação  $S_n$  (S/C no interior das zonas de cisalhamento ou de plano axial em suas proximidades). Dobras relacionadas a  $S_n$  têm eixos caindo moderadamente para sudeste. No Lineamento Congonhas a transposição é intensa, sendo comuns faixas miloníticas decimétricas a métricas, dobras de arraste e de cisalhamento. A foliação  $S_n$  transpõe uma foliação anterior ( $S_{n-1}$ ), subparalela ao acamamento sedimentar relictivo, melhor observada em rochas filossilicáticas e em setores mais afastados do Lineamento Congonhas.

## 5 Lineamento Congonhas – Alteração Hidrotermal e Mineralização

Extensas faixas de carbonatação, cloritização e silicificação estão associadas às áreas lavradas pelos bandeirantes, onde as zonas mineralizadas estão preferencialmente localizadas na porção basal do cmCI, mais especificamente nos níveis inferiores

da UMM, em metabasaltos, BIFs e metacherts (Figura 3). Níveis de BIFs e metacherts localizados mais para o topo da UMM também podem se mostrar mineralizados, porém de modo esparsos.

### 5.1 Estruturas Hospedeiras das Zonas de Alteração Hidrotermal

Zonas de cisalhamento dúcteis a dúcteis-rúpteis subparalelas ao acamamento original hospedam a mineralização. Em mapa e seção as zonas de cisalhamento apresentam caráter escalonado e anastomosado; estando preferencialmente associadas aos níveis de metapelitos carbonosos e nos contatos entre os BIFs ou metacherts e os metabasaltos (Figuras 3 e 4a). Essa disposição indica controle reológico por unidades mais ricas em filossilicatos e matéria carbonosa além de contatos entre BIFs (ou metacherts) e metabasaltos.

Indicadores cinemáticos (estruturas S/C, assimetria de dobras, arraste de tramas planares pretéritas, *boudins* assimétricos, etc.) apontam para movimentação principal oblíqua sinistral reversa,

com os blocos a NE erguendo-se em relação aos SW. As zonas de cisalhamento têm espessuras métricas a decamétricas; frequentemente se desenvolvem em flancos de dobras apertadas a isoclinais.

As rochas situadas no contato nordeste do cmCI com o embasamento possuem mergulhos fortes a subverticais para nordeste (Figura 3), encontrando-se invertidas, as zonas de cisalhamento tendo sobreposto as rochas do GGNE às rochas metavulcanossedimentares.

Veios e vênulas de quartzo e sulfetos ao longo das zonas de cisalhamento podem ser: (i) veios dobrados isoclinalmente, formando dobras sem raiz, (ii) veios *boudinados*, rompidos ou não, (iii) veios em superfícies de cisalhamento tipo *C'* e (iv) veios de tração, podendo ser tanto do tipo *tension gashes* quanto vênulas e veios desenvolvidos em *necks de boudins* (estruturas tipo *fishmouth* e *star-shaped boudinage*).

No interior das zonas de cisalhamento, em estratos que apresentam contrastes de competência (ex.: BIF intercalado em filito carbonoso), são relativamente comuns *boudinage* e formação de dobras

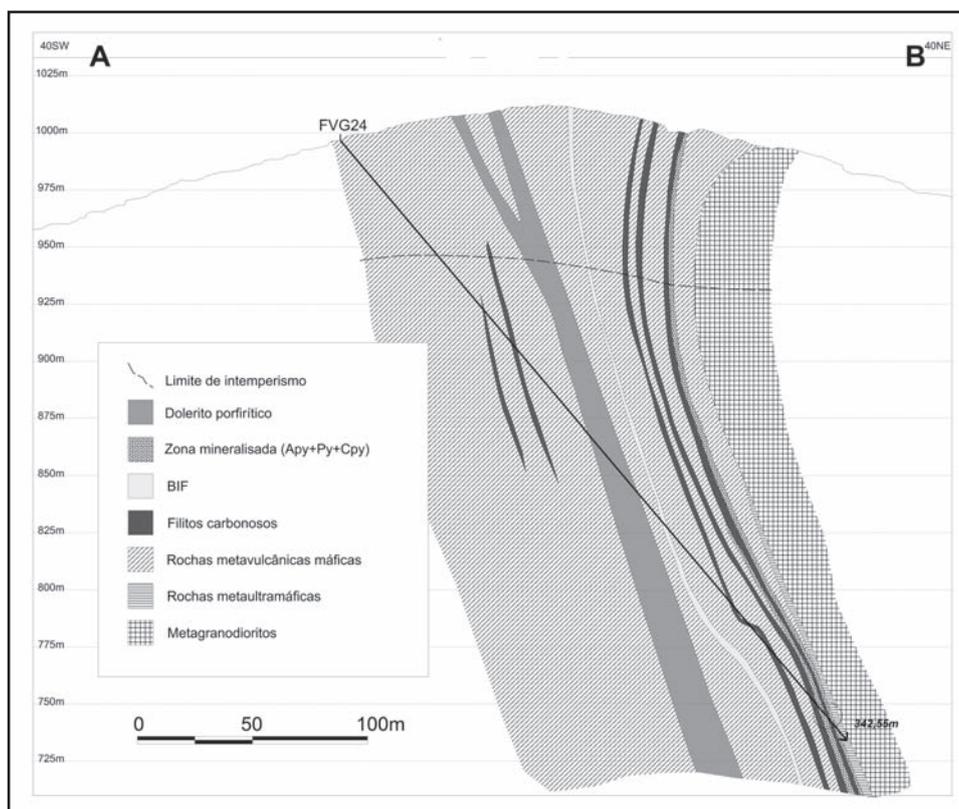
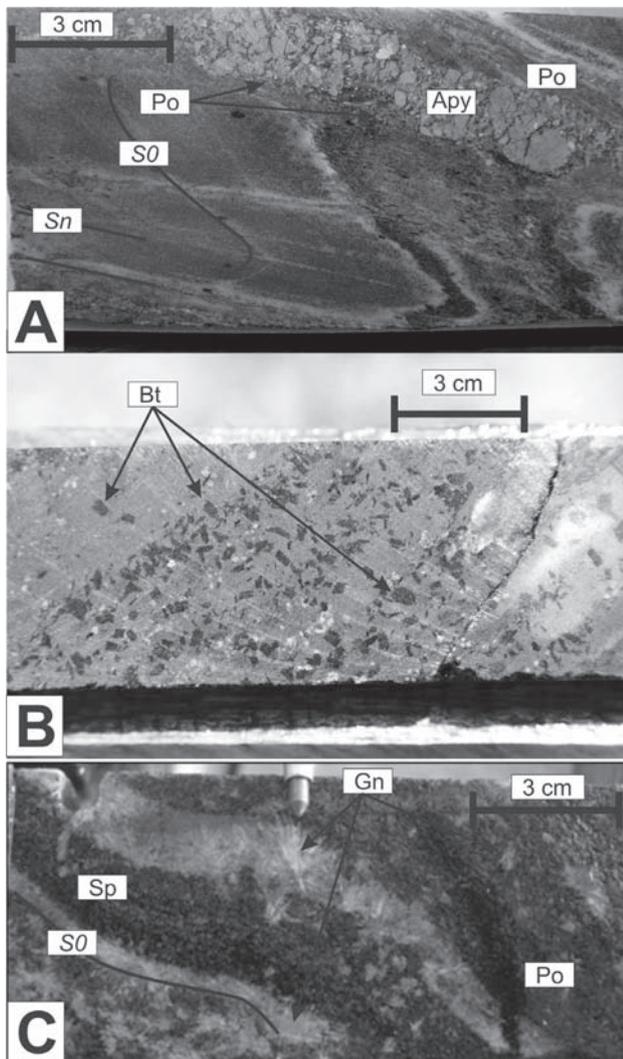
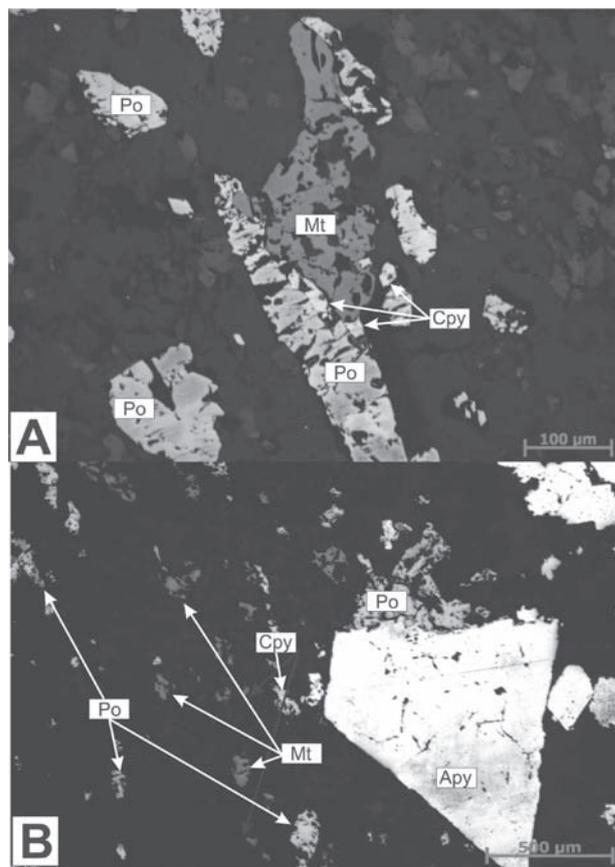


Figura 3 Seção geológica ao longo do Lineamento Congonhas (vide Figura 2 para localização) incorporando dados litológicos e estruturais coletados a partir do furo de sonda FVG24. A deformação tectônica concentra-se no contato entre o conjunto de rochas vulcanossedimentares e as rochas granitoides.

apertadas a isoclinais. Charneiras desenvolvidas em BIFs e metacherts tendem a apresentar alteração hidrotermal mais intensa, com forte silicificação e sulfetação. O desenvolvimento mais acentuado de estruturas rúpteis (fraturas, falhas e zonas bechadas de pequeno porte) pode ter favorecido a



**Figura 4** Aspectos da alteração hidrotermal, identificados a partir de testemunhos de sondagem em rochas do Lineamento Congonhas. (A) Veio de quartzo sulfetado, com arsenopirita no núcleo e pirrotita na borda, encaixado em zona de cisalhamento de espessura centimétrica atravessando BIFs. Note a presença de dobra de arraste e lixiviação ao longo de planos da filiação Sn. Furo FVG24. (B) Blastos de biotita hidrotermal crescendo sobre rocha metamáfica da unidade metavulcânica máfica. Furo FIT 02. (C) Crescimento de grunerita em agregados radiais e stibnomelana (lâminas escuras) sobre BIFs da unidade metassedimentar inferior. Furo FCR07. Apy- arsenopirita, Po- pirrotita, Mt- magnetita, So- laminação sedimentar relicta, Sn- foliação tectônica principal, Gn- grunerita, Sp- stibnomelana, Bt- biotita. Diâmetro dos testemunhos- 6cm; vide Figura 2 para localização dos furos de sondagem.



**Figura 5** Fotomicrografias (luz refletida, polarizadores paralelos) de BIFs do cinturão metavulcanossedimentar Congonhas-Itaverava com alteração hidrotermal (sulfetação). (A) Zona sulfetada externa, com pirrotita (Po) e calcopirita (Cpy) hidrotermais formando-se a partir de magnetita (Mt). (B) Zona interna de sulfetação, com cristais euédricos a subédricos de arsenopirita (Apy) sobrecrecendo pirrotita e magnetita. A ganga é composta predominantemente por quartzo e carbonatos. Amostras provenientes do furo FVG 24.

geração de maior permeabilidade e porosidade, condicionado o fluxo dos fluidos hidrotermais.

## 5.2 Alteração Hidrotermal em Metapelitos

Rochas metapelíticas foram sericitizadas e cloritizadas nos setores externos das zonas de alteração hidrotermal (Figura 5). Nas regiões mais proximais ocorrem também silicificação e sulfetação. O quartzo aparece sob a forma de veios dobrados (geralmente dobras isoclinais sem raiz) e *boudinados*, com ou sem sulfetos. Os sulfetos ocorrem: (i) junto ao quartzo, em veios, (ii) preenchendo fraturas em zonas de *necks* de *boudins* e (iii) disseminações. Pirrotita é o principal sulfeto, com menores quantidades de arsenopirita, calcopirita e pirita; galena e esfarelita podem também ocorrer.

### 5.3 Alteração Hidrotermal em Rochas Metamáficas

Nas rochas metamáficas, clorita e sericita são abundantes nas zonas externas (Figura 5). Blastos de biotita, geralmente alterada para clorita, podem estar presentes junto a zonas venuladas (Figura 4b). Os halos internos têm silicificação e sulfetação. As zonas sulfetadas são divididas em três regiões: (i) externa, onde pirrotita é o sulfeto dominante, tendo calcopirita e pirita como acessórios, (ii) intermediária, com pirita, calcopirita e pirrotita e (iii) interna, dominada por arsenopirita e com pirita e calcopirita como secundários.

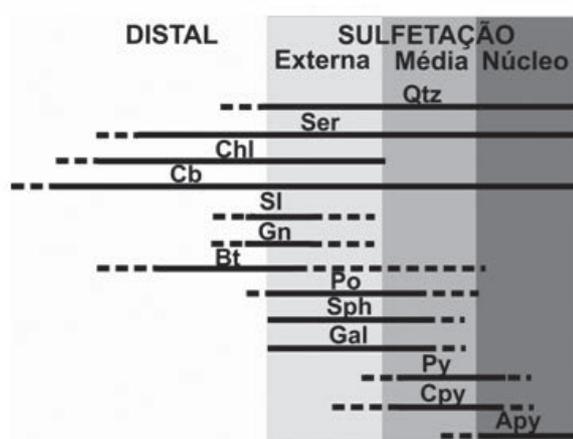


Figura 6 Esquema mostrando as associações de minerais hidrotermais em rochas do CmCI. Ser- sericita, Qtz- quartzo, Chl- clorita, Cb- carbonato, Sl- stilpnomelana, Sph- esfarelita, Gn- grunerita, Gal- galena, Py- pirita, Cpy- calcopirita, Apy- arsenopirita, Po- pirrotita.

### 5.4 Alteração Hidrotermal em BIFs e Metacherts

Em BIFs e metacherts, as associações minerais hidrotermais são mais variadas. As zonas externas são caracterizadas pela presença de clorita e sericita. Segue-se então nas proximidades e no princípio das zonas sulfetadas mais internas uma faixa com sobrecrescimentos de stilpnomelana e agregados radiais de grunerita. Stilpnomelana formar-se com mais frequência nas bandas e lâminas ricas em óxidos de Fe e a grunerita preferencialmente nas mais silicosas (Figura 4c), resultando na preservação parcial do bandamento ou laminação original. Silicificação e sulfetação estão presentes no núcleo das zonas hidrotermalizadas hospedadas em BIFs e metacherts (Figuras 5 e 6).

As zonas sulfetadas também apresentam partes externas dominadas por pirrotita (Figuras 4a,

5 e 6), com menor participação de calcopirita e pirita. Cristais de pirrotita podem ser vistos crescendo sobre ou circundando cristais de magnetita (Figura 5a), indicando que esses sulfetos se formaram a partir dos óxidos. Cristais de stilpnomelana se formam sobre cristais de pirrotita, indicando uma origem relacionada à fases mais tardias do hidrotermalismo (Figuras 4a e 5). Nas partes mais internas da zona sulfetada, o sulfeto predominante é a arsenopirita, geralmente em cristais euédricos a subédricos, que se formam a partir de cristais de pirrotita. Calcopirita pode ser vista ocasionalmente circundando parcialmente cristais de magnetita, sendo por sua vez circundada por pirrotita (Figura 5). A calcopirita parece ser o primeiro sulfeto a ser formado. Em veios e vênulas de quartzo, uma distribuição similar de sulfetos pode ser vista, com bordas ricas em pirrotita e núcleos com predomínio de arsenopirita.

### 5.6 Alteração Hidrotermal em Granitóides

Em zonas de cisalhamento encaixadas nas rochas do GGNE, observa-se intensa formação de sericita e clorita, respectivamente sobre alcalifeldspatos, plagioclásios e minerais máficos (biotita, anfibólios). Veios de quartzo e sulfetos, além de disseminações de sulfetos podem ser encontrados. Em ambos os casos, arsenopirita e pirita são os sulfetos dominantes, ocorrendo traços de calcopirita. Pirrotita não foi observada nessas rochas.

## 6 Discussão

As mineralizações auríferas aqui descritas podem ser classificadas como pertencentes ao “clã” do ouro orogênico (Grover *et al.*, 1998; 2003; Goldfarb *et al.*, 2001), por estarem hospedadas em e serem sincrônicas à atividade de estruturas de caráter compressivo, no caso as zonas de cisalhamento do Lineamento Congonhas. Alterações e zoneamentos hidrotermais (cloritização, sericitização, silicificação) também são compatíveis com tal classificação. Para Klein (2005), a stilpnomelana é formada em BIFs no grau médio de metamorfismo; condições de pressão e temperatura superiores às da geração de clorita e sericita hidrotermal. A ocorrência de stilpnomelana crescendo sobre a pirrotita e de biotita como blastos pode ser interpretada como um pico de aporte de fluidos de temperatura mais elevada, após o qual decorreu o arrefecimento do sistema como um todo.

Não existem datações absolutas disponíveis para os minerais hidrotermais das mineralizações auríferas do Lineamento Congonhas. Tradicional-

mente, essas mineralizações são tidas como Neoarqueanas, cronocorrelatas às do *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Seixas, 1988; Seixas & Baars, 1991; Lobato & Pedrosa-Soares, 1993; Baltazar & Zucchetti, 2007; Lobato *et al.*, 2007; Noce *et al.*, 2007).

Datações em zircões detríticos de metagrauvas do topo do cmCI forneceram uma idade mínima de 2,35Ga (Silva, 2009; Corrêa Neto *et al.*, 2011), estabelecendo uma idade máxima Sideriana para a sedimentação. Seixas *et al.* (2012) dataram (U-Pb ID-TIMS em zircões) a suíte TTG Lagoa Dourada, que aflora a sudoeste do cmCI em aproximadamente 2.35Ga. Essa idade indica que rochas relacionadas à suíte Lagoa Dourada provavelmente estavam presentes nas áreas-fonte das metagrauvas superiores do cmCI.

Ávila *et al.* (2003, 2006), Campos (2004) obtiveram Idades Paleoproterozoicas (Riacianas) para o *Greenstone Belt* Rio das Mortes; os mapas por eles apresentados indicam uma possível continuidade lateral entre o cmCI, de *trend* SE-NW e o *Greenstone Belt* Rio das Mortes, de *trend* SW-NE, o que condiz com a interpretação de dados de aerogeofísica (radiometria) regional CODEMIG (Figura 1). Nesse caso, a deposição dos (meta) sedimentos turbidíticos teria ocorrido durante o Riáciano e a idade Sideriana dos zircões refletiria o espectro de idades das rochas que compunham suas áreas fonte. Alternativamente, o topo do cmCI pode representar um cinturão independente, mais antigo que o *Greenstone Belt* Rio das Mortes, porém mais novo que o *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Como para a base do cmCI não há dados geocronológicos absolutos, não se sabe, portanto, a extensão do intervalo de tempo decorrido entre a deposição das porções da basais da UMM e as metagrauvas da UMS. É também possível que a base do cmCI seja cronocorrelata ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas (Neoarqueano), sendo apenas o topo cronocorrelato ao *Greenstone Belt* Rio das Mortes (Paleoproterozóico). Se a UMM for Paleoproterozóica, a mineralização do Lineamento Congonhas poderia ser Transamazônica ou Brasileira, um caso similar à Mina da Passagem. Entretanto, se a UMM for Neoarqueana, as mineralizações poderiam também ser Neoarqueanas.

O Lineamento Congonhas apresenta cinemática e *trend* compatíveis com movimentações e reativações no Neoarqueano, Transamazônico e Panafricano-Brasiliano. Os dados estruturais disponíveis não contribuem, portanto, para se determinar a idade das mineralizações.

Na ausência de dados geocronológicos absolutos para a porção inferior do cmCI ou para os minerais hidrotermais e tendo em vista o quadro estrutural, a idade da mineralização do Lineamento Congonhas está em aberto.

## 7 Conclusões

O Lineamento Congonhas hospeda mineralizações do tipo ouro orogênico. A alteração hidrotermal se concentrou em zonas de cisalhamento dúcteis a dúctil-rúpteis controladas por contrastes litológicos. Zonas de carbonatação, cloritização e sericitização circundam um núcleo de silicificação e sulfetação. A zona de sulfetação é formada por um halo externo onde pirrotita é o sulfeto dominante, seguindo-se uma zona intermediária com pirita, calcopirita, pirrotita, esfarelita e galena. Arsenopirita é o sulfeto dominante no núcleo da zona sulfetada. É possível que a mineralização aurífera do Lineamento Congonhas seja Paleoproterozóica e não Arqueana, como tradicionalmente interpretada.

## 8 Agradecimentos

Os autores agradecem à IAMGOLD Corporation, em especial a Milton Guimarães Bueno do Prado (*Country Manager, Brazil*) e Jamie Rogers (*Chief Geologist*), pelo incentivo, apoio e permissão para publicação; ao geógrafo Ricardo Peixoto pela edição dos mapas e ao prospector Vander Lúcio Muniz pela ajuda na amostragem de testemunhos. Aos professores Júlio Cesar Mendes e Isabel P. Ludka, os autores agradecem pelo uso das facilidades do laboratório de microsonda eletrônica do Departamento de Geologia da UFRJ, onde foram realizados os trabalhos de petrografia. Os autores também são gratos a Ciro Ávila (Universidade Federal do Rio de Janeiro – Museu Nacional) pela revisão atenta e valiosas discussões.

## 9 Referências

- Alkmim, FF. & Marshak, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: 29 – 58.
- Almeida, F. F. M. 1977. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7:349 - 364.
- Ávila, C.A.; Valença, J.G.; Moura C.A.V.; Klein, V.C. & Pereira, A.R.M. 2003. Geoquímica e idade do Trondhjemitó Cassiterita, borda meridional do Cráton São Francisco, Minas Gerais. *Arquivos do Museu Nacional*, 61: 267 – 284.

- Ávila, C.A.; Teixeira, W.; Cordani, U.G.; Barrueto, H.R.; Pereira, R.M.; Martins, V.T.S. & Dunyi, L. 2006. The Glória quartz-monzodiorite: isotopic and chemical evidence of arc-related magmatism in the central part of the Paleoproterozoic Mineiro belt, Minas Gerais State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(3): 543 - 556.
- 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 regional setting of gold deposits. *Ore Geology Reviews*, 32: 471 - 499.
- Barbosa, M.I.M. 1985. *Geoquímica das Faixas Máficas-Ultramáficas, Plutonitos e Magmatitos do "Greenstone Belt" Barbacena, na Região de Conselheiro Lafaiete (MG)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 227 p.
- Cabral, A.R. 2006. Palladiferous gold mineralisation (ouro preto) In *Brazil: Gongo Soco, Itabira and Serra Pelada: Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte Reihe D, Heft 8*, 115 p.
- Cabral, A.R. & Koglin, N. 2011. Hydrothermal fluid source constrained by Co/Ni ratios in coexisting arsenopyrite and tourmaline: the auriferous lode of Passagem, Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brasil. *Mineralogy and Petrology*, 104 (3-4): 137 - 145.
- Campos, J.C.S. 2004. *O Lineamento Jeceaba-Bom Sucesso Como Limite dos Terrenos Arqueanos e Paleoproterozóicos do Cráton São Francisco Meridional: Evidências Geológicas, Geoquímicas (Rocha Total) e Geocronológicas (U-Pb)*. Tese de Doutorado. DEGEO/EM/UFOP. 190 p.
- Chauvet, A.; Faure, M.; Dossin, I. & Charvet, J. 1994. A three-stage structural evolution of the Quadrilátero Ferrífero: consequences for the Neoproterozoic age and the formation of gold concentrations of the Ouro Preto area, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research*, 68: 139 - 167.
- Chauvet, A.; Piantone, P.; Barbanson, L.; Nehlig, P. & Pedroletti, I. 2001. Gold deposit formation during collapse tectonics: structural, mineralogical, geochronological, and fluid inclusion constraints in the Ouro Preto gold mines, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. *Economic Geology*, 96: 25 - 48.
- Chemale Jr., F.; Rosière, C.A. & Endo, I. 1994. The tectonic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Precambrian Research* 65: 22 - 54.
- Corrêa Neto, A.V.; Almeida, A.M. & Silva, O.S. 2011. O Cinturão Metavulcanossedimentar Itaverava-Congonhas, uma Entidade Paleoproterozóica do Sul do Quadrilátero Ferrífero (MG). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE 12, *Anais*. Nova Friburgo, RJ. Publicação em CD-ROM.
- David, M.E.V. 2006. *Composição Isotópica de Pb-Sr e Nd da Mineralização de Ouro do Depósito Córrego do Sítio, Quadrilátero Ferrífero (MG): Implicações na Modelagem Conceitual*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, USP, 76p.
- Dorr II J.V.N. 1969. Physiographic, stratigraphic, and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *U.S.G.S. Professional Paper 641A*, 110 p.
- Dorr II, J.V.; 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.
- Eschwege, W.L. v. 1833. *Pluto Brasiliensis*, Berlim: G. Reimer, 622p. - trad. português de D. de Figueiredo Murta, Belo Horizonte/São Paulo (Itatiaia/Ed. USP) 2 vol., 1976, 588p.
- Garayp E.; Minter W.E.L.; Renger F.E. & Siegers, A. 1991. Moeda placer gold deposits in the Ouro Fino Syncline, Quadrilátero Ferrífero, Brazil. In: LADEIRA, E.A. (ed.). *Proceedings of Brazil gold '91; the economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits*, p. 601 - 608.
- Goldfarb, R.J.; Groves, D.I. & Gardoll, S. 2001. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18: 1 - 75.
- 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 Geology Reviews*, 13: 7 - 27.
- Groves, D.I.; Goldfarb, R.J.; Robert, F. & Hart, G.J.R. 2003. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance. *Economic Geology*, 98: 1 - 29.
- Guild, P. W. 1957. Geology and mineral resources of the Congonhas District, Minas Gerais, Brazil: *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 290: 90p.
- Heineck, C.A.; Leite, C.A.S.; Silva, M.A. & Vieira, V.S. 2003. *Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Brasil, Escala 1:1.000.000*. COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2003. Belo Horizonte, MG.
- Jost, H. ; Seixas, L. A. R. & Roesser, H. 1987. Derrames komatiíticos diferenciados do município de Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 4, Ouro Preto. *Anais Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo de Minas Gerais*, 1987, p. 273 - 285.
- Klein, C. 2005. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origins: *American Mineralogist*, 90: 1473 - 1499.
- Koglin, N.; Frimmel, H.E.; Minter, W.E.L. & Brätz, H. 2010. Trace-element characteristics of different pyrite types in Mesoarchaeoan to Palaeoproterozoic placer deposits. *Mineralium Deposita*, 45: 259 - 280.
- Lobato, L.M. & Pedrosa-Soares, A.C. 1993. Síntese dos recursos minerais do Cráton do São Francisco e faixas marginais em Minas Gerais. *Geonomos*, 1(1): 51 - 64.
- Lobato, L.M.; Ribeiro-Rodrigues, L.C.; Zucchetti, M.; Noce, C.M.; Baltazar, O.; da Silva, L.C. & Pinto, C.P. 2001. Brazil's premier gold province. Part I: The tectonic, Magmatic, and structural setting of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero. *Mineralium Deposita*, 36: 228 - 248.
- 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 Geology Reviews*, 32: 674 - 680.
- Noce, C.M.; Tassinari, C. & Lobato, L.M. 2007. Geochronological framework of the Quadrilátero Ferrífero, with emphasis on the age of gold mineralization hosted in Archean greenstone belts. *Ore Geology Reviews*, 32: 500 - 510.
- Pires, P.F.R. 2005. *Gênese dos Depósitos Auríferos em Meta-Conglomerados da Formação Moeda, Quadrilátero*

- Ferrífero (MG): O Papel do Metamorfismo e Associação com a Matéria Carbonosa*. Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas. Tese de Doutorado, 209p.
- Pires, F.R.M. 1977. *Geologia do Distrito Manganêsífero de Conselheiro Lafaiete – Minas Gerais*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 344 p.
- Santos, O.S. 2009. *Report on SHRIMP U-PB geochronology of five samples from eastern São Francisco Craton, Minas Gerais State, Brazil*. Relatório Interno, Mineração IAMGOLD Brasil Ltda. 9p.
- Seixas, L.A.R. 1988. *Geologia e Metalotectos de Ouro de uma Fração do Lineamento Congonhas, MG*. Instituto de Geociências, Universidade Nacional de Brasília. Dissertação de Mestrado, 116 p.
- Seixas, L.A.R. & Baars, F.J. 1991. Características geoquímicas das rochas ultramáficas do lineamento Congonhas, Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 3/1. Volume de Resumos, 185-190.
- Seixas, L.A.R.; David, J. & Stevenson, R. 2012. Geochemistry, Nd isotopes and U–Pb geochronology of a 2350 Ma TTG suite, Minas Gerais, Brazil: Implications for the crustal evolution of the southern São Francisco craton. *Precambrian Research*, 196-197: 61-80
- Shinzato, S.A. & Ribeiro, Y. 2009. *Mapeamento Geológico da Região de Rancho Novo, Entre os Municípios de Conselheiro Lafaiete e Ouro Branco (MG)*. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Monografia de Graduação, 132p.
- Vial, D.S.; Duarte, B.P.; Fuzikawa, K. & Vieira, M.B.H. 2007. An epigenetic origin for the Passagem de Mariana gold deposit, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Ore Geology Reviews*, 32: 596 – 613.
- Zucchetti, M.; Baltazar, O.F. & Raposo, F.O. 1996. Estratigrafia. In: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Projeto Rio das Velhas–Texto Explicativo do Mapa Geológico Integrado, escala 1:100.000. Departamento Nacional de Produção Mineral/CPRM– Serviço Geológico do Brasil, Belo Horizonte, p. 13–42.