



Geologia da Mineralização de Ouro Primária de Reriutaba, Ceará, Brasil

Caio César Fernandes Teixeira de SAMPAIO¹, Clóvis Vaz PARENTE²,
Jaqueline Mesquita de AQUINO¹

Resumo: A mineralização de ouro primária de Reriutaba está localizada no Domínio Ceará Central da Província Borborema. A mineralização está hospedada nas rochas metavulcanossedimentares do fácies anfíbolito da Unidade Canindé do Complexo Ceará, que é composta por migmatito, anfíbolito, rocha calcissilicática e xisto na área de estudo. A mineralização formou-se em falhas de segunda e/ou terceira ordem da Zona de Cisalhamento Reriutaba e é representada por dois estilos de mineralização: 1) veios de quartzo com sulfetos e ouro/*electrum* e 2) brechas hidrotermais com sulfeto e ouro/*electrum*. Embora esteja hospedada em rochas metamórficas do fácies anfíbolito, a mineralização está associada a uma assembleia hidrotermal de baixa temperatura. Escapolita, albita, biotita, muscovita, epidoto, clorita, sericita, quartzo, siderita, k-feldspato, sulfetos, caulinita e barita são os minerais hidrotermais geralmente relacionados com a mineralização. Turmalina, actinolita, tremolita, calcita e ankerita são outros minerais hidrotermais que também ocorrem na área de estudo. Pirita, galena, esfalerita, arsenopirita, calcopirita e bornita são os minerais-minérios comumente associados a mineralização. Molibdenita e bismutinita podem estar presentes como acessórios. A mineralização de ouro primária de Reriutaba apresenta características do tipo ouro orogênico e está associada aos últimos estágios da Orogênese Brasileiro.

Palavras-chave: Província Borborema, Ouro Orogênico, Geologia, Petrografia.

Abstract: *The Reriutaba primary gold mineralization is located in the Ceará Central Domain of the Borborema Province. The mineralization is hosted in the amphibolite facies metavolcanossedimentary rocks of the Canindé Unit of the Ceará Complex, which is composed by migmatite, amphibolite, calcissilicatic rock and schist in the study area. The mineralization was formed in second and/or third order faults of the Reriutaba Shear Zone and is represented by two styles of mineralization: 1) gold/electrum and gold-bearing sulfides in quartz veins and 2) gold/electrum and gold-bearing sulfides in quartz-cabornate breccias. Although occurs hosted in amphibolite facies metamorphic rocks, the mineralization is associated with a low temperature hydrothermal assembly. Scapolite, albite, biotite, muscovite, epidote, chlorite, sericite, quartz, siderite, k-feldspar, sulfides, kaolinite and barite are generally the hydrothermal alteration minerals related with the mineralization. Tourmaline, actinolite, tremolite, calcite and ankerite are others*

¹ Universidade Federal do Ceará – Programa de Pós-graduação em Geologia

² Universidade Federal do Ceará – Departamento de Geologia – Laboratório de Geologia Econômica

hydrothermal alteration minerals that also occurs in the study area. Pyrite, galena, sphalerite, arsenopyrite, chalcopyrite and bornite are the dominant ores minerals commonly associated the mineralization. Molybdenite and bismuthinite may be present as accessories. The Reriutaba primary gold mineralization shows characteristics of the orogenic gold type and is associated with the late stages of the Brasiliano Orogeny.

Keywords: Borborema Province, Orogenic Gold, Geology, Petrography.

1. INTRODUÇÃO

A Província Borborema (ALMEIDA *et al.*, 1977) (Figura 1 A), situada no nordeste do Brasil, é constituída por terrenos pré-cambrianos, de idades variando entre o Arqueano e o Neoproterozóico, deformados e metamorfizados no final do Neoproterozóico durante a Orogênese Brasileira/*Pan-African*, há cerca de 600 Ma. Frequentemente, interpreta-se essa orogênese como resultado da colisão dos crátons São Luís/Oeste África e São Francisco/Congo, responsável pela amalgamação final do continente *West Gondwana* (ARTHAUD, 2007).

Segundo Arthaud (2007), a colisão, inicialmente frontal em torno de 610 Ma, resultou em espessamento crustal por empilhamento de *nappes*. Em cerca de 590 Ma, o regime mudou para colisão oblíqua, desenvolvendo zonas de cisalhamento de escala continental de direção NNE-SSW. Esse arcabouço foi recortado por duas megazonas de cisalhamento de direção E-W, que dividem a Província Borborema em três subprovíncias: Subprovíncia Borborema Setentrional, Subprovíncia Borborema Transversal e Subprovíncia Borborema Meridional (ARTHAUD, 2007).

Mineralizações de ouro primárias na Subprovíncia Borborema Setentrional são de idades neoproterozóicas (c. 580 Ma), classificadas como do tipo ouro orogênico (COUTINHO & ALDERTON, 1998a) ou do tipo W-Au relacionadas a

intrusões (SOUZA NETO *et al.*, 2008), com grande concentração de depósitos na região do Seridó (RN) e da Faixa Cachoeirinha (PB) (e.g. COUTINHO, 1994; LEGRAND *et al.*, 1996; LUIZ-SILVA *et al.*, 2000; ARAÚJO *et al.*, 2002; 2005). No Domínio Ceará Central (Figura 1 A), mineralizações de ouro orogênico foram recentemente descritas (COSTA *et al.*, 2019a; 2019b) nas sequências tipo *greenstone* de idade Paleoproterozóica da região de Várzea Alegre (COSTA *et al.*, 2018).

Na região de Reriutaba (Figura 1 B), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) constatou ocorrências de ouro primárias, em anfibolitos e rochas metavulcânicas (CPRM, 1980), e secundárias, em aluviões, cascalheiras cenozóicas e em conglomerados da Formação Ipu (CPRM, 1976; 1977), a partir do Projeto Reriutaba no final da década de 70. Desde então poucas informações foram documentadas sobre essas ocorrências (e.g. CPRM, 1998; SAMPAIO & SCARPA, 2017), sobretudo acerca das ocorrências primárias. Uma das ocorrências primárias foi descrita e interpretada como do tipo *intrusion-related gold system* (SAMPALIO & SCARPA, 2017).

Portanto, nesse estudo procurou-se examinar a mineralização de ouro primária de Reriutaba de modo a determinar a geometria, os controles

litoestruturais e a gênese da mineralização. Será apresentado observações de campo, integradas com dados estruturais e petrográficos. Com base em todo o contexto geológico regional e local da mineralização discutimos um possível modelo metalogenético da mineralização de ouro primária de Reriutaba.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A ocorrência de ouro primária de Reriutaba e os controles litoestruturais da mineralização foram identificados e delimitados a partir do mapeamento geológico de uma área de 400 km², situada entre as cidades Cariré, Reriutaba e Varjota.

A petrografia foi realizada a partir da descrição de quatorze lâminas delgadas, sete lâminas delgadas polidas e sete seções polidas, das quais cinco lâminas delgadas polidas e duas seções polidas foram selecionadas para análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV), técnica utilizada para dar suporte na determinação de minerais. Essas análises foram realizadas na Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (UFC), com o microscópio eletrônico de varredura *Quanta 450 FEG – FEI* acoplado a sistema EDS (*Energy Dispersive System*), programado com HV:20.000 kV e detector de elétrons retro-espelhados para baixo e alto vácuo (vCD).

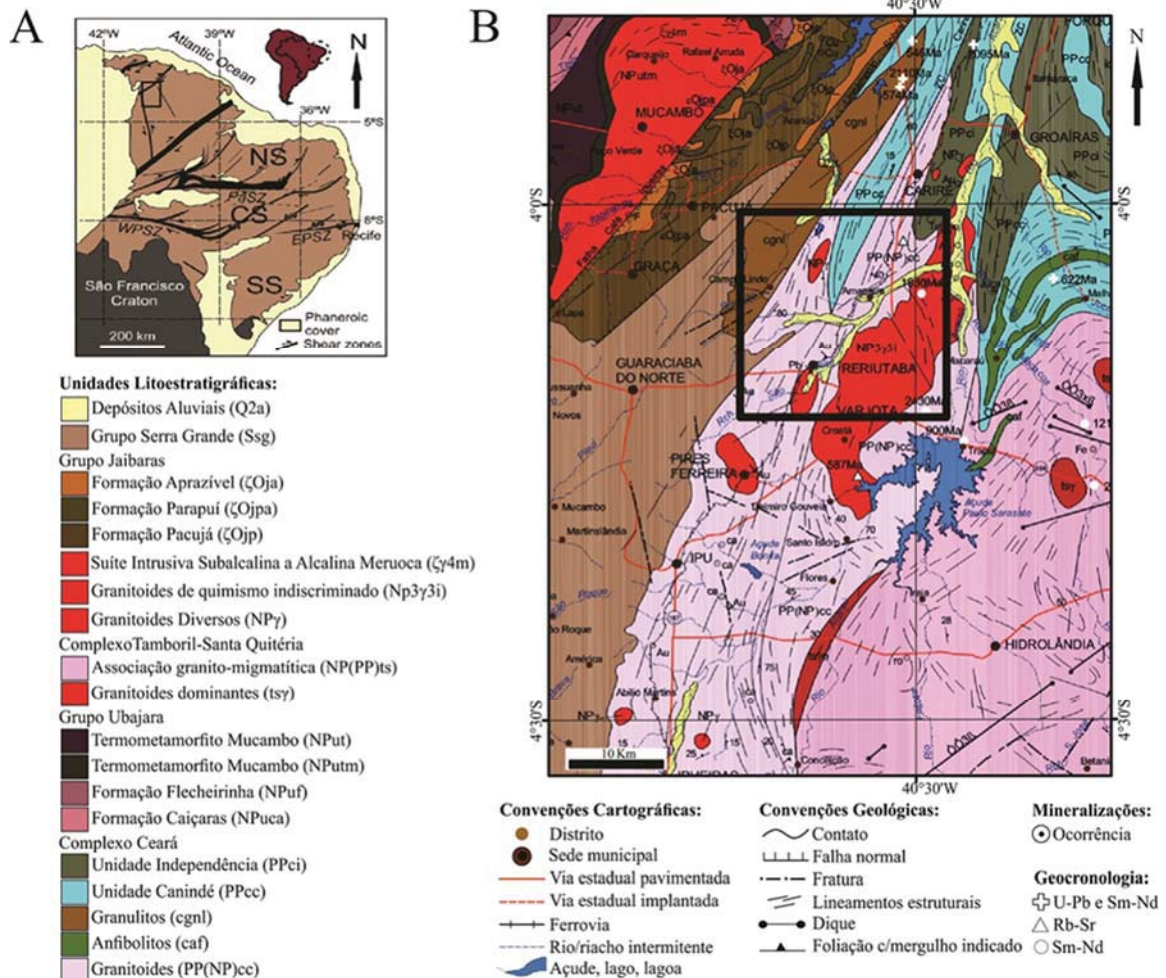
3. SÍNTESE DO CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está situada no Domínio Ceará Central, que faz parte da Sub-Província Borborema Setentrional da Província Borborema (ALMEIDA *et al.* 1977) (Figura 1 A).

A região de estudo se encontra em grande parte no contexto geológico regional das Coberturas Metassedimentares do Domínio Ceará Central, tendo Granitos Brasileiros associados (e.g. CAVALCANTE *et al.*, 2003) (Figura 1 B).

Cavalcante *et al.* (2003) classificaram essas coberturas metassedimentares como Complexo Ceará, que é dividido nas unidades Arneiroz, Canindé, Independência e Quixeramobim. Essas coberturas metassedimentares são formadas por xistos e gnaisses pelíticos ou semipelíticos, com contribuições menores de mármore, quartzitos, rochas calcissilicáticas e raras metagrauvacas (CAVALCANTE *et al.*, 2003; ARTHAUD, 2007; ARTHAUD *et al.*, 2015). Intercalações de anfíbolitos são comuns, podendo haver também raros metarriolitos ou metarriodacitos (ARTHAUD, 2007; ARTHAUD *et al.*, 2015). Essas coberturas metassedimentares são interpretadas como uma sequência de margem continental passiva associada à abertura do Oceano Goiás-Pharusiano, que se iniciou em torno de 750 Ma (FETTER, 1999; ARTHAUD *et al.*, 2015), que foi intensamente deformada e metamorfizada no final do Neoproterozóico durante a Orogênese Brasileiro/Pan-African, há cerca de 600 Ma (ARTHAUD, 2007; ARTHAUD *et al.*, 2008). Essas rochas foram afetadas por metamorfismo de alta pressão (assembleias de almandina, cianita, mica branca e rutilo), durante os primeiros estágios do empilhamento de *nappes* e, posteriormente, na colisão propriamente dita, por metamorfismo regional de fácies anfíbolito de alta temperatura (assembleias de silimanita, biotita e

plagioclásio) frequentemente atingindo localmente condições de fácies
acompanhado de migmatização, granulito (ARTHAUD *et al.*, 2015).



Nota: Subprovincias Borborema Setentrional (NS), Zona Transversal (CS) e Meridional (SS). Zonas de cisalhamento: PaSZ - Patos; EPSZ - Leste Pernambuco; WPSZ - Oeste Pernambuco.

Figura 1: Contexto geológico regional. Modificado de Neves (2015) e Cavalcante *et al.* (2003).

Os Granitos Brasileiros representam importantes eventos de plutonismo granítico que ocorreram relacionados à Orogênese Brasileiro/*Pan-African* (FERREIRA *et al.*, 1998). Arthaud (2007) classificou esses granitos como: 1) cedo-colisionais (pré-orogênicos); 2) sin-cinemáticos (sin-orogênicos); 3) tardi-tectônicos (tardi-orogênicos); 4) pós-orogênicos.

Segundo Arthaud *et al.* (2015), os granitos pré-orogênicos geralmente apresentam idades de cristalização U-Pb em zircão entre 620 e 640 Ma, contudo o mais antigo datado, granito do Arco Magmático de Santa Quitéria, possui

idade de cristalização de cerca de 660 Ma (BRITO NEVES *et al.*, 2003).

Arthaud *et al.* (2015) dividiram os granitos sin-orogênicos em dois grupos: 1) granitos anatéticos ricos em Al intrudidos durante a tectônica de empurrão com idades de cristalização de cerca de 600-620 Ma; 2) granitos da fase strike-slip com idades de cristalização U-Pb de cerca de 560-590 Ma (NOGUEIRA, 2004; SANTOS *et al.*, 2008).

De acordo com Arthaud *et al.* (2015), os granitos tardi-orogênicos tem idades de cerca de 580 Ma (FETTER, 1999; BRITO NEVES *et al.*, 2003) e os

granitos pós-orogênicos tem idades cambrianas, cerca de 530 Ma (FETTER, 1999; ARCHANJO *et al.*, 2009), e ordovicianas, entre 460 e 470 Ma (TEIXEIRA, 2005; CASTRO, 2004).

4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A geologia da área é dominada por rochas metavulcanossedimentares das unidades Canindé e Independência do Complexo Ceará que foram intrudidas por granitos sin-, tardi- e pós-orogênicos (com vulcanismo básico-intermediário associado) (Figura 2).

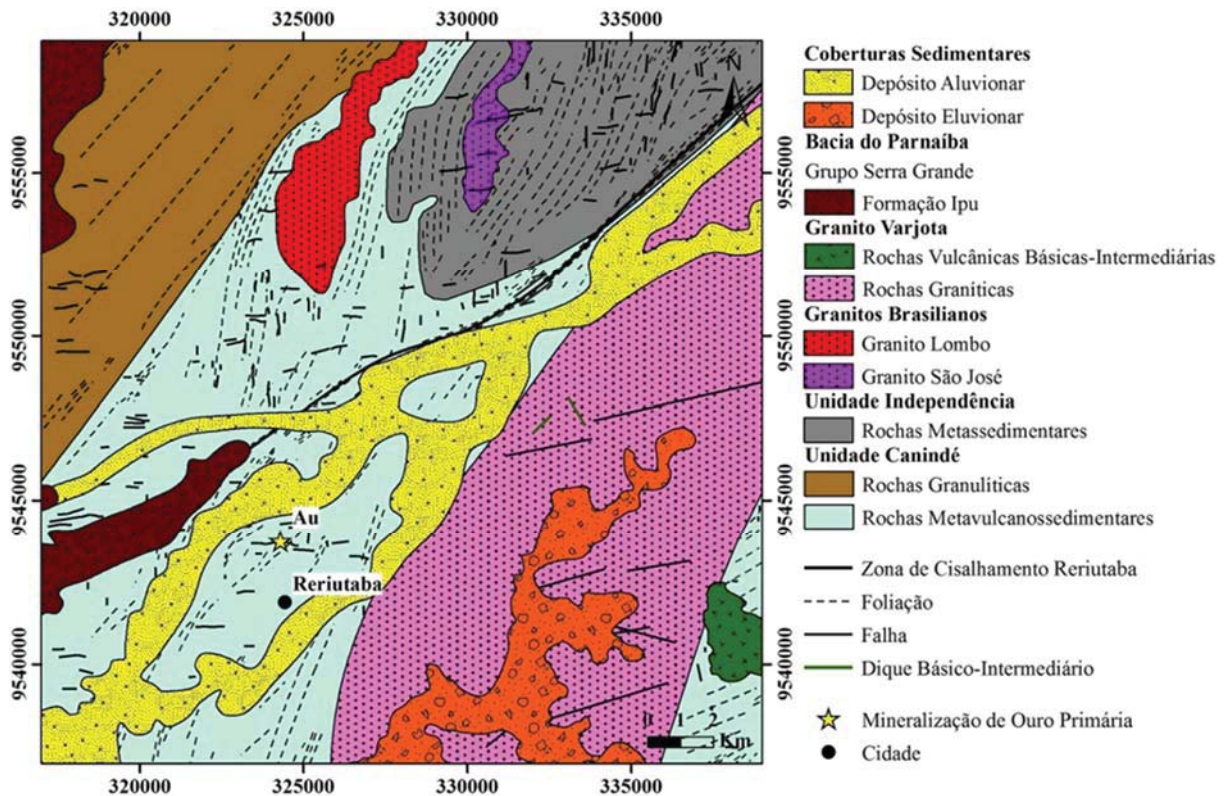


Figura 2: Mapa geológico simplificado da área de estudo.

A Unidade Canindé é constituída por migmatitos (Figura 3 A) intercalados com ocasionais anfibolitos, rochas calcissilicáticas e xistos, e por uma faixa granulítica (extremo noroeste da área de estudo). Os migmatitos são compostos por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita, podendo conter anfibólio, granada e silimanita. Os anfibolitos são compostos por anfibólio, plagioclásio e quartzo, podendo conter granada (geralmente como porfiroblasto). As rochas calcissilicáticas são compostas por clinopiroxênio, plagioclásio, anfibólio e quartzo, com granada ocorrendo

eventualmente. Os xistos são compostos por muscovita, biotita, quartzo, k-feldspato, podendo conter silimanita e fibrolita, variando entre biotita-muscovita xisto, muscovita-biotita xisto, silimanita-biotita-muscovita xisto e silimanita-muscovita-biotita xisto. A faixa granulítica é constituída por granulitos máficos (Figura 3 B) que são compostos por anfibólio, clinopiroxênio, plagioclásio e quartzo, podendo conter granada e rutilo. Zonas alteradas hidrotermalmente na Unidade Canindé são comuns, sobretudo próximas à Zona de Cisalhamento Reriutaba. Potassificação (k-feldspato + biotita), propilitização (clorita + epidoto ± actinolita ± tremolita),

carbonatação (calcita) e silicificação são as alterações hidrotermais habituais que afetaram as rochas da Unidade Canindé nessas zonas.

A Unidade Independência é constituída por migmatitos, gnaisses e xistos. Os migmatitos e os xistos da Unidade Independência são semelhantes aos da Unidade Canindé, entretanto os migmatitos da Unidade Independência não contêm anfibólio no mesossoma e/ou no melanossoma e diatextos são abundantes. Os gnaisses são compostos por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita, podendo conter granada, silimanita, fibrolita e cianita, que comumente, com exceção da fibrolita, ocorrem como porfiroblastos, variando entre granada gnaiss, silimanita-granada gnaiss e cianita-silimanita gnaiss (Figura 3 C e D).

Essas unidades metavulcanossedimentar e metassedimentar foram intrudidas por plútons graníticos sin- (Granito São José), tardi- (Granito Lombo) e pós-orogênicos (Granito Varjota com vulcanismo básico-intermediário associado) (Figura 3 E) que estão subparalelos a principal foliação regional, aproximadamente 20° Az. Os granitos são cinzas, brancos ou rosas, compostos por quartzo, k-feldspato, plagioclásio e biotita, podendo conter anfibólio e muscovita, e variam de granodioritos a álcali-feldspato granitos. As rochas vulcânicas básicas e intermediárias (Figura 3 F) associadas ao Granito Varjota ocorrem como enclaves microgranulares, diques e derrames (na borda leste do granito). São rochas de cores pretas a cinzas, compostas por clinopiroxênio, plagioclásio, olivina e anfibólio, podendo

conter k-feldspato e quartzo, variando de basaltos a andesitos.

Posteriormente, a porção oeste da zona de estudo foi parcialmente coberta por rochas sedimentares psamíticas da Formação Ipu do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, que consistem de conglomerados intercalados com arenitos conglomeráticos e, em menor quantidade, arenitos, que ocorrem em camadas tabulares de espessuras métricas com estratificação plano-paralela.

4.1 Aspectos Estruturais

As principais estruturas tectônicas da região de estudo são duas zonas de cisalhamento NE-SW, Zona de Cisalhamento Sobral – Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) e Zona de Cisalhamento Reriutaba, com foliações NE-SW e falhas NNE-SSW e ENE-WSW associadas. Esses dois conjuntos de zonas de cisalhamentos com foliações e falhas associadas correspondem a dois episódios de compressão regional que ocorreram na Província Borborema no Neoproterozóico. A Zona de Cisalhamento Sobral – Pedro II (Lineamento Transbrasiliano) é a estrutura mais antiga da área e está relacionada com a amalgamação do supercontinente *West Gondwana* durante a Orogênese Brasileiro/*Pan-African* no final do Neoproterozóico (ARTHAUD *et al.*, 2008). A Zona de Cisalhamento Reriutaba também está relacionada com a Orogênese Brasileiro/*Pan-African*, porém representa um evento de compressão regional mais tardio, que ocorreu num estágio mais evoluído da orogênese. Falhas ENE-WSW e NNE-SSW relacionadas com a Zona de Cisalhamento Reriutaba,

representam estruturas de segunda e/ou terceira ordem da zona de cisalhamento. As falhas ENE-WSW apresentam direções entre 75-90° Az, mergulham 40-

45° para S/SE e são as principais estruturas que condicionam a distribuição dos veios mineralizados.



Figura 3: Geologia local. (A) Metatexito da Unidade Canindé com bandamento metamórfico anastomosado. (B) Matacão de aproximadamente 1m de granulito máfico bandado da Unidade Canindé. Afloramentos de rochas da Unidade Independência, representada por (C) cianita-silimanita gnaissse com porfiroblastos de silimanita e (D) cianita-silimanita gnaissse com porfiroblastos de cianita. Ky: cianita; Sil: silimanita. (E) Lajedo do Granito Varjota com enclaves microgranulares de rochas vulcânicas básicas-intermediárias de escala decimétrica a métrica. (F) Blocos de andesito com fenocristais de plagioclásio.

5. MINERALIZAÇÃO DE OURO PRIMÁRIA DE RERIUTABA

A mineralização de ouro primária de Reriutaba ocorre por quase 1 km ao longo de falhas e fraturas ENE/WSW hospedada nas rochas metavulcanos-sedimentares da Unidade Canindé do Complexo Ceará. É composta por veios de quartzo mineralizados associados com brechas hidrotermais mineralizadas que sobrepuseram, devido aos falhamentos e as brechações mais a percolação de fluidos hidrotermais, os migmatitos, anfibolitos, rochas calcissilicáticas e xistos da Unidade Canindé (Figura 4).

5.1 Veios Mineralizados

Os veios de quartzo mineralizados (Figura 5 A e B) geralmente apresentam direções entre 75-90° Az e mergulham 40-45° para S/SE. Tem espessuras que variam entre 15 cm e 1 m, e comprimentos que variam entre 1 m e 250 m. São compostos predominantemente por quartzo (90-95%) e sulfetos (0,5-3%). Pirita, galena, esfalerita e arsenopirita são os sulfetos mais abundantes. Calcopirita, bornita e covellita são comuns, contudo ocorrem

em quantidades inferiores. O ouro geralmente está especialmente associado e incluso nos sulfetos, entretanto também há quantidades importantes de ouro "livre" no quartzo. Muscovita, sericita, k-feldspato, caolinita e turmalina podem perfazer entre 1-2% do volume dos veios. Siderita, ankerita e barita podem estar presentes como acessórios.

5.2 Alterações Hidrotermais

Alteração hidrotermal generalizada, ligada à mineralização aurífera, sobrepôs quase totalmente as rochas metavulcanos-sedimentares da Unidade Canindé na zona mineralizada, alterando-as para brechas hidrotermais mineralizadas (Figura 5 C e D). As rochas hospedeiras foram alteradas hidrotermalmente devido as brechações relacionadas aos falhamentos e, conseqüentemente, interação com fluidos hidrotermais e veios de quartzo mineralizados. Alteração cálcica-sódica, potassificação, hidrolitização, propilitização, sericitização, carbonatação, silicificações, sulfetações e argilitização são as alterações hidrotermais diretamente associadas a mineralização.

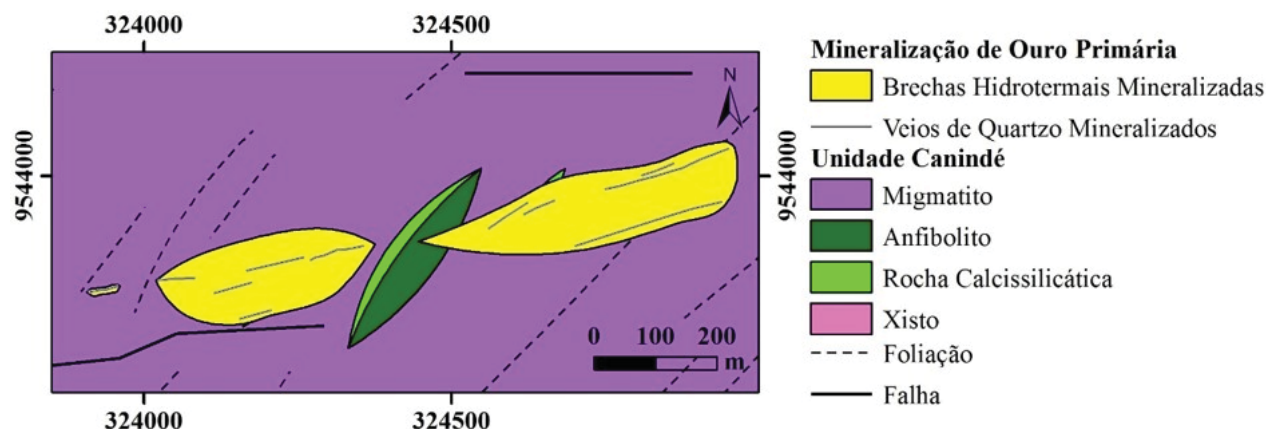


Figura 4: Mapa geológico simplificado da zona mineralizada.

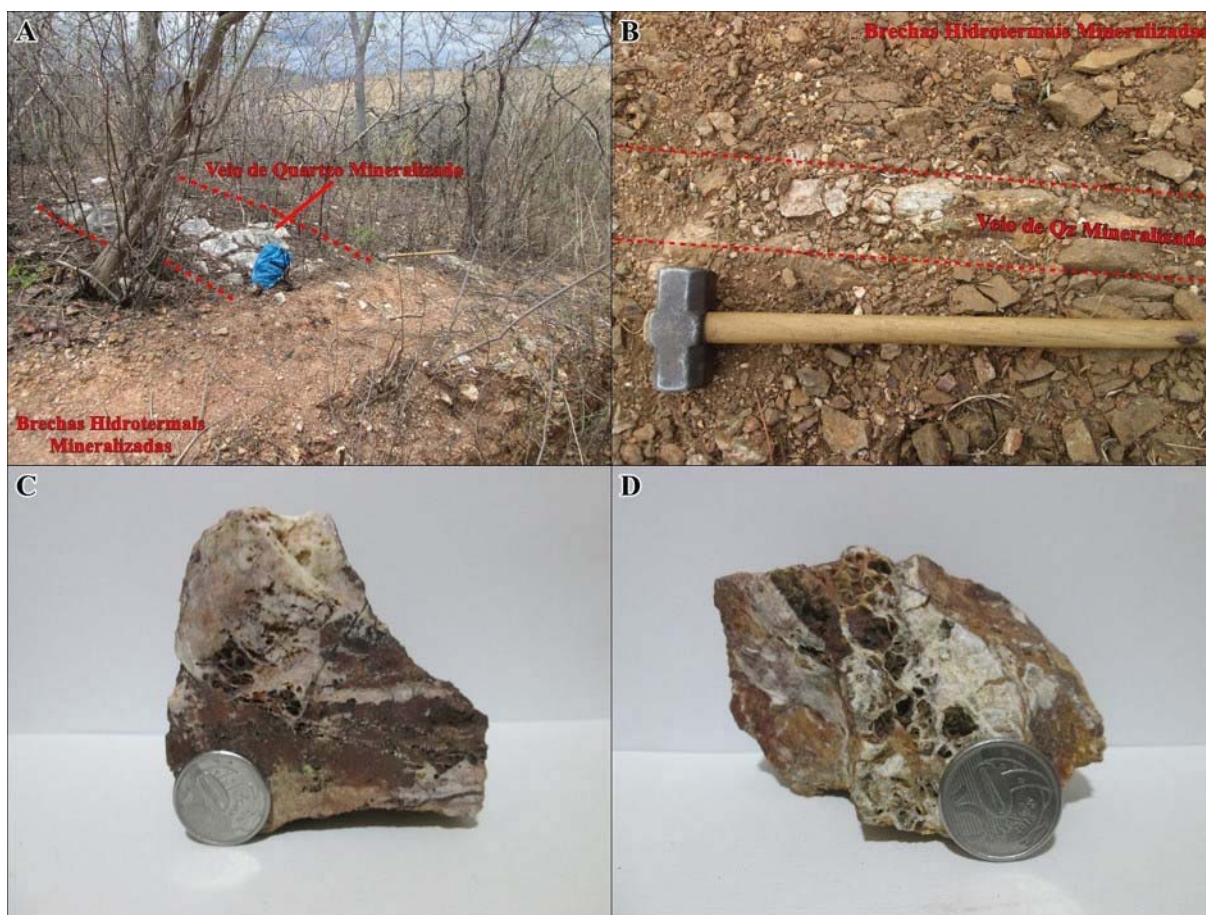


Figura 5: (A e B) Veios de quartzo mineralizados cortando as rochas hospedeiras da Unidade Canindé brechadas e alteradas hidrotermalmente para brechas hidrotermais mineralizadas (C e D).

Alteração cálcica-sódica e potassificação são as alterações menos expressivas na zona mineralizada e afetaram apenas os anfibolitos provocando a neoformação de escapolita + plagioclásio e biotita, respectivamente. Hidrolitização (neoformação de muscovita), propilitização (neoformação de clorita e/ou epidoto) e sericitização ocorreram sequencialmente, exceto nos anfibolitos, dado que não foram atingidos por hidrolitização e sericitização, apenas por propilitização, que é marcada nesse tipo litológico pela neoformação de epidotos (Figura 6 E e F). Muscovita neoformada (Figura 6 A) substituída sequencialmente por clorita (sempre com epidoto associado nas rochas calcissilicáticas) (Figura 6 B, C e D) e sericita é comum

nos migmatitos, nas rochas calcissilicáticas e nos xistos da zona mineralizada. Carbonatação ocorreu junto a primeira geração de silicificação e causou a neoformação de siderita \pm ankerita nas brechas hidrotermais mineralizadas. Ocorrem três gerações distintas de silicificação, alteração hidrotermal mais abundante e pervasiva na zona mineralizada, todas com sulfetações (pirita + galena + arsenopirita + esfalerita + calcopirita + bornita \pm molibdenita \pm bismutinita) associadas. A mineralização de ouro ocorreu acompanhada dessas silicificações e sulfetações. Argilitização foi a última alteração que incidiu nas brechas hidrotermais mineralizadas e ocasionou a neoformação de caolinita (Figura 7).

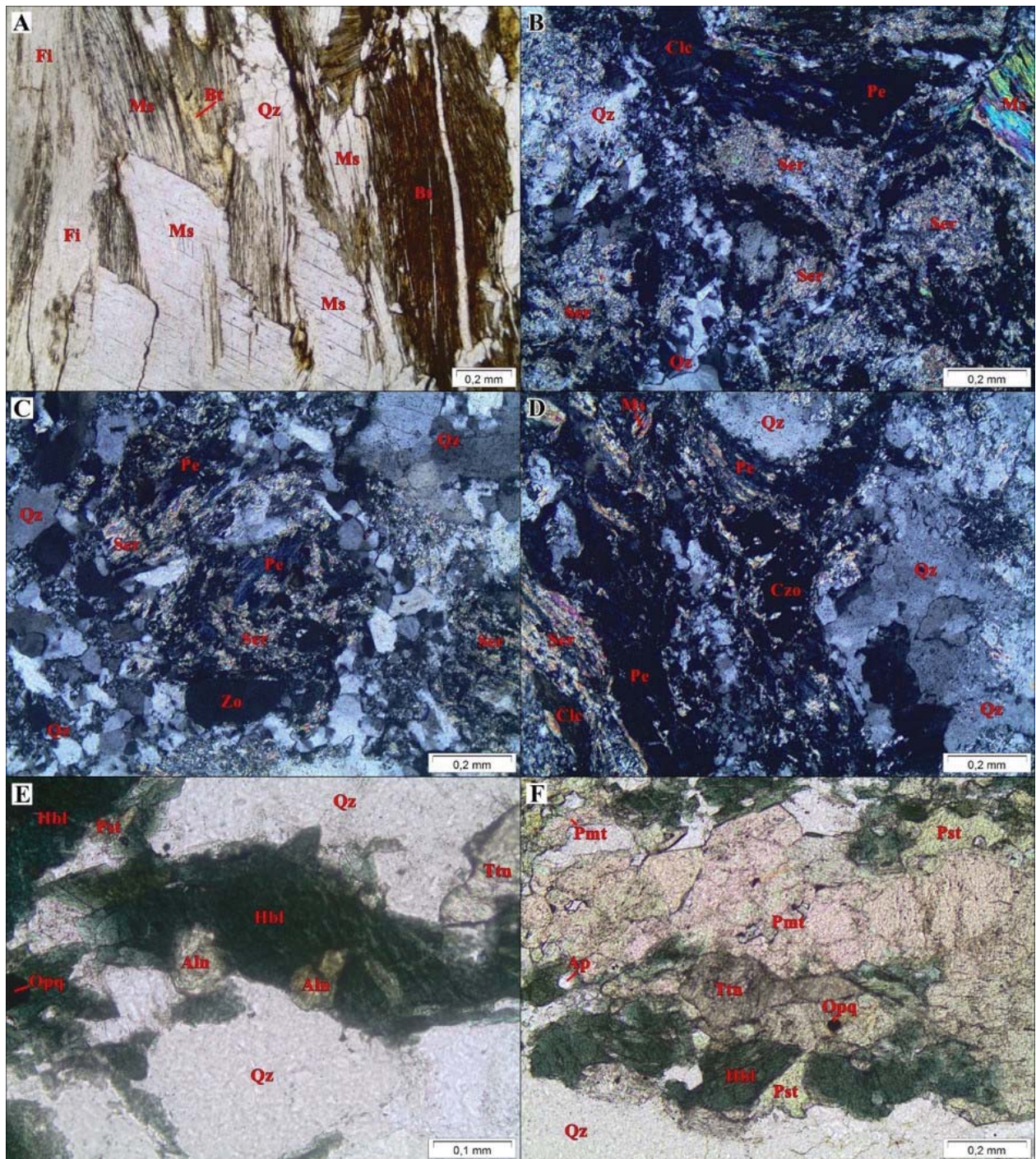


Figura 6: Aspectos microscópicos das rochas hospedeiras da mineralização alteradas hidrotermalmente. (A) Biotitas substituídas por muscovita e sobrepostas por uma nova geração de muscovita hidrotermal. (B) Muscovita substituída sequencialmente por cloritas e sericita. (C) Penina sericitizada com zoisita associado. (D) Penina, clinoclora e clinozoisita sericitizados. (E) Alanitas zonadas substituindo hornblenda. (F) Hornblendas substituídas por piemontitas e pistacitas. Aln: alanita; Ap: apatita; Bt: biotita; Clc: clinoclora; Czo: clinozoisita; Fi: fibrolita; Hbl: hornblenda; Ms: muscovita; Opq: opaco; Pe: penina; Pmt: piemontita; Pst: pistacita; Qz: quartzo; Ser: sericita; Ttn: titanita; Zo: zoisita.

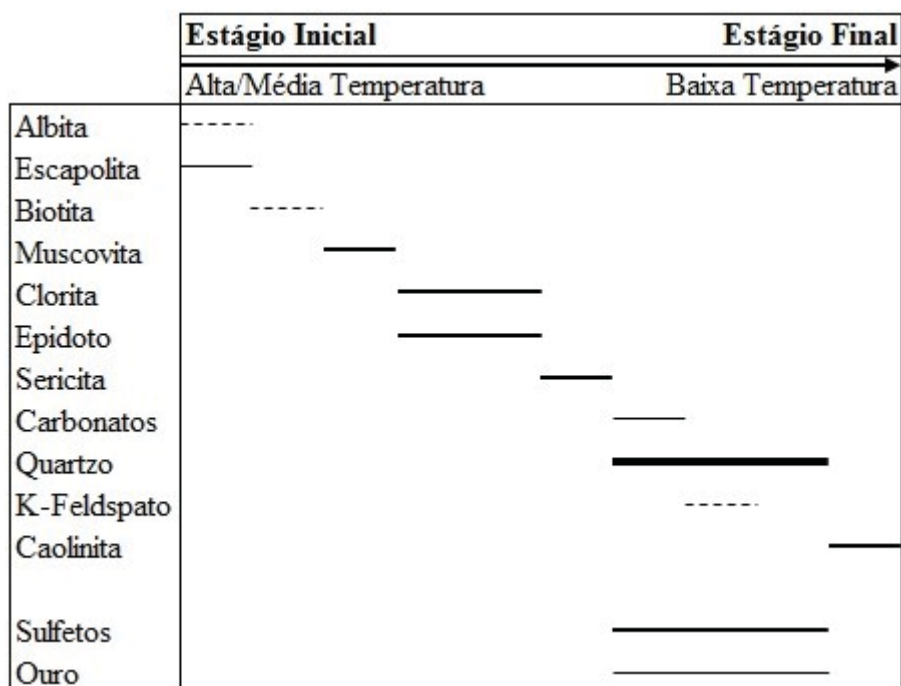


Figura 7: Sequência paragenética dos minerais de alteração hidrotermal e da mineralização de ouro.

5.3 Brechas Hidrotermais Mineralizadas

As brechas hidrotermais mineralizadas são compostas por quartzo (12 a 90%), hidróxido de ferro (3 a 52%), caolinita (1 a 10%), siderita (1 a 5%), sulfetos (0,5 a 3%), k-feldspato (1 a 2%), barita (1%) e ouro (< 1%).

Há três gerações distintas de quartzo hidrotermal. Os cristais de quartzo hidrotermal da primeira geração ocorrem de maneira pervasiva, variam de 0,1 a 1 mm, são anedrais, podem conter inclusões de minerais opacos (provavelmente ouro/*electrum* e sulfetos de Fe, Pb, As, Zn e Cu). Estão recristalizados em subgrãos, fraturados e exibem extinção ondulante. Os cristais de quartzo hidrotermal da segunda geração estão disseminados nas brechas, são grossos (> 1 mm), prismáticos subedrais a euedrais, podem estar um pouco deformados e

recristalizados em subgrãos, e exibem extinção reta ou um pouco ondulante. Já os cristais de quartzo hidrotermal da

terceira geração mostram-se de modo pervasivo ou como vênulas milimétricas cortando as gerações anteriores, são muito finos (< 0,1 mm) e anedrais (Figura 8 A).

As sideritas ocorrem disseminadas associadas com quartzos hidrotermais da primeira geração, estão deformadas (fraturadas) e foram um pouco alteradas e substituídas, sobretudo nas bordas, por limonita (Figura 8 B). Os k-feldspatos (adulária) ocorrem disseminados ou em vênulas de quartzo e foram alterados hidrotermalmente e substituídos por caolinita muito fina (< 0,1 mm) (Figura 8 C). As baritas ocorrem como vênulas milimétricas ou disseminadas (Figura 8 D).

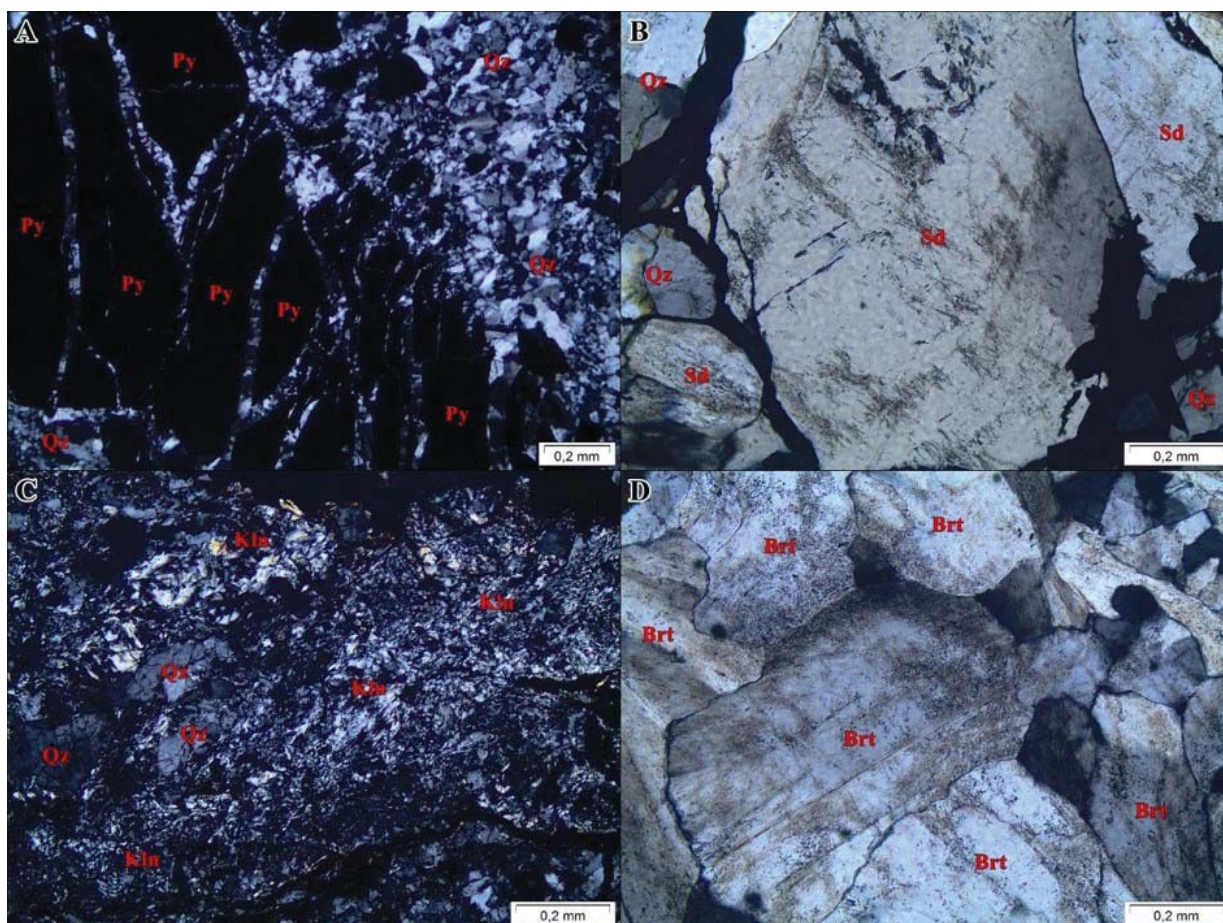


Figura 8: Aspectos microscópicos das brechas hidrotermais mineralizadas. (A) Pirita da segunda geração de sulfetação cortada por cristais de quartzo hidrotermal da terceira geração de silicificação. (B) Siderita um pouco alterada e substituída nas bordas por limonita associada com cristais de quartzo hidrotermal da primeira geração de silicificação. (C) Massas de caolinita muito fina (< 0,1 mm) substituindo quartzo. (D) Cristais de barita anedrais a prismáticos subedrais com clivagem {001} perfeita e cor de interferência de primeira ordem (cinza). Brt: barita; Kln: caolinita; Py: pirita; Qz: quartzo; Sd: siderita.

Há três gerações distintas de sulfetos. A primeira geração de sulfetos está associada com a primeira geração de quartzo hidrotermal. Os sulfetos dessa primeira geração foram totalmente alterados intempericamente e substituídos por limonita, restando apenas alguns pseudomorfos subedrais a euedrais de pirita, galena, esfalerita e arsenopirita, e podem conter inclusões de ouro/*electrum*. A partir de análises químicas por MEV das limonitas (Figura 9) foi identificado que a assembléia da primeira geração de sulfetos era composta por pirita + galena + arsenopirita + esfalerita + calcopirita + bornita ± molibdenita ± bismutinita.

A segunda geração de sulfetos (Figura 10) está associada com a segunda geração de quartzo hidrotermal, é composta por pirita + galena + esfalerita + calcopirita + arsenopirita + bornita, os sulfetos variam de 0,1 a 2 mm, estão deformados (fraturados) e cortados pela terceira fase de silicificação, foram parcialmente alterados intempericamente e lixiviados e posteriormente um pouco alterados supergenicamente e substituídos por covellita e calcocita, e podem conter inclusões de ouro/*electrum*. A terceira geração de sulfetos está associada com a terceira geração de quartzo hidrotermal, é composta por pirita + esfalerita + galena + arsenopirita +

calcopirita + bornita, os sulfetos ocorrem disseminados e são muito finos (< 0,01 mm).

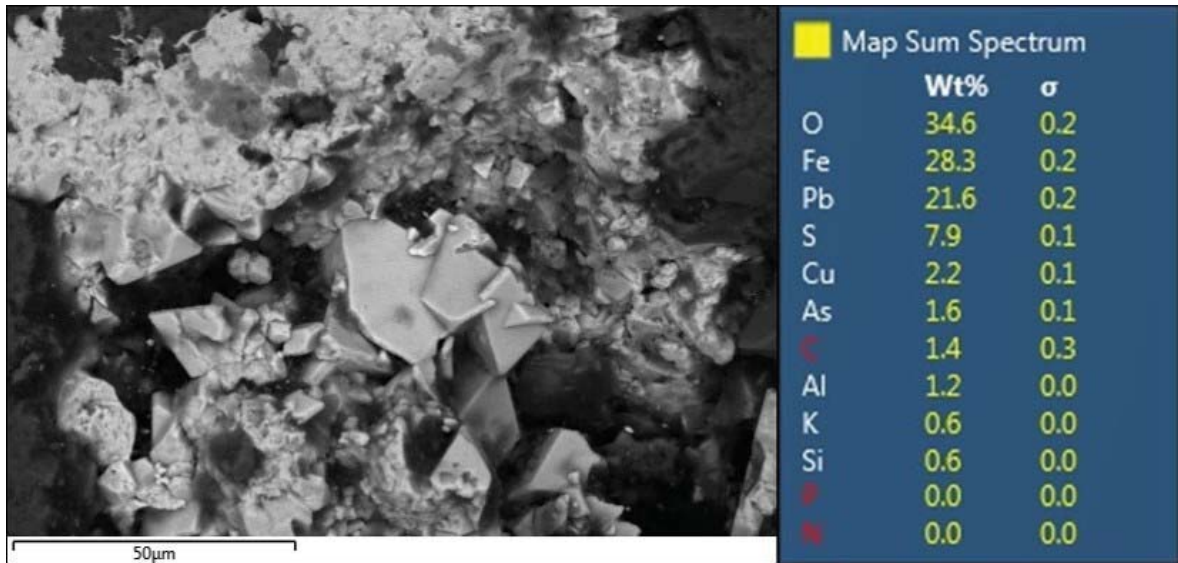


Figura 9: Imagem MEV mais análise EDS de limonita.

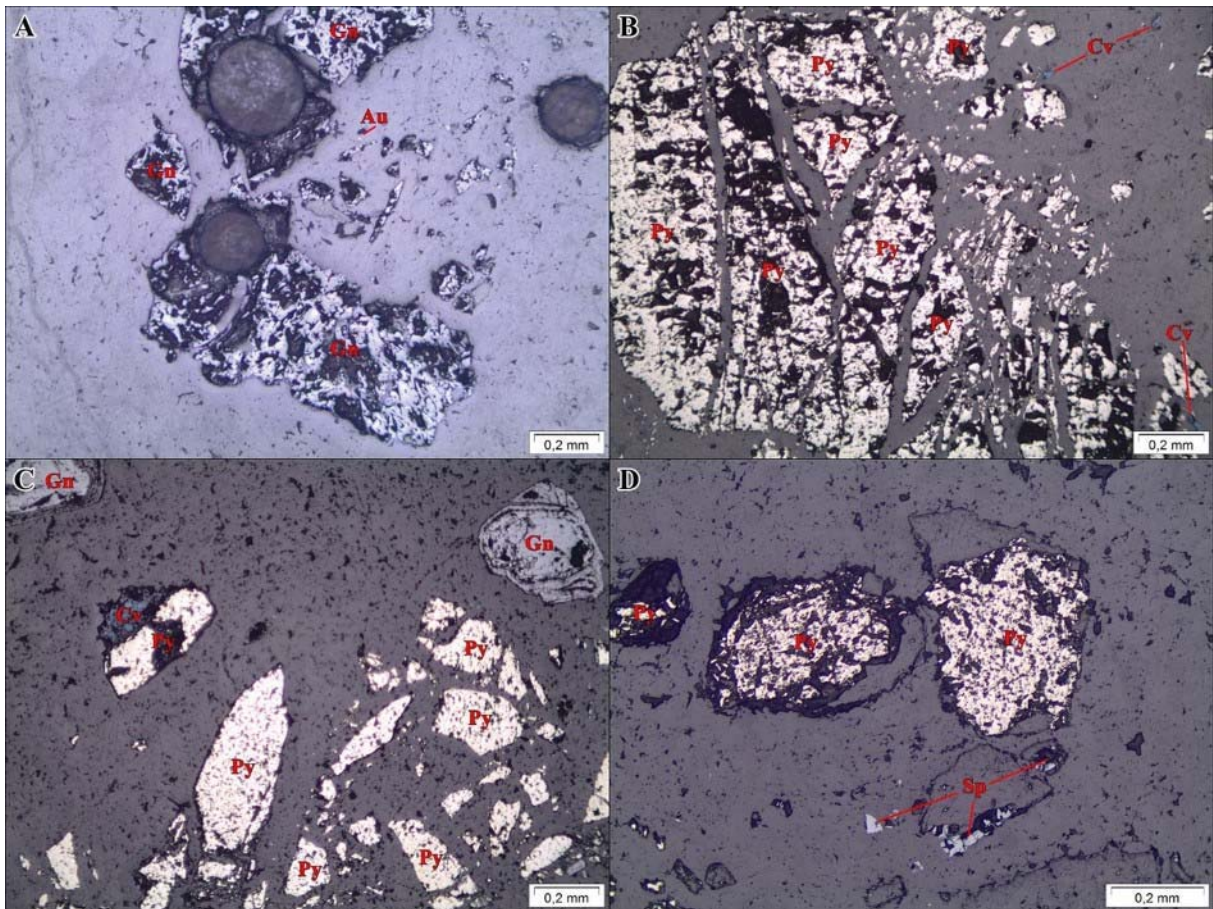


Figura 10: Aspectos microscópicos dos sulfetos das brechas hidrotermais mineralizadas. (A) Cristais de galena da segunda geração de sulfetos com ouro associado. (B) Pirita da segunda geração de sulfetos cortada por veios de quartzo hidrotermal da terceira geração com covelita associada. (C) Cristais de pirita, galena e covelita disseminados na matriz silicática da brecha hidrotermal mineralizada. (D) Cristais de pirita e esfalerita da segunda geração de sulfetos disseminados na matriz silicática da brecha hidrotermal mineralizada. Au: ouro/electrum; Cv: covelita; Gn: galena; Py: pirita; Sp: esfalerita.

O ouro ocorre espacialmente associado e incluso nos sulfetos (Figura 11 A e B) e nos cristais de quartzo (Figura 11 C e D) como grãos muito

finos (< 0,1 mm) anedrais, são amarelos claros (*electrum*) (Figura 11 A e C) a dourados (Figura 11 B e D), possuem altíssima reflectância e isotropia.

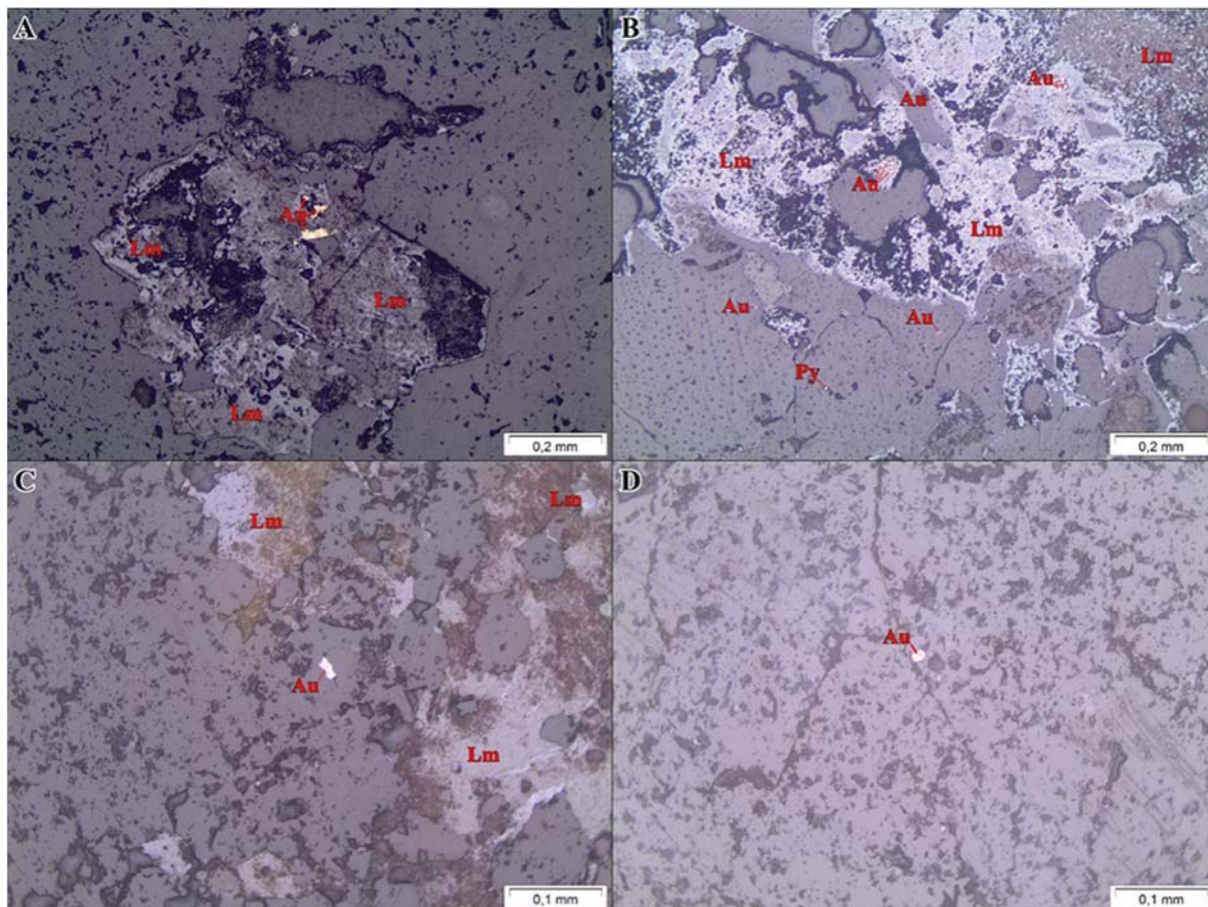


Figura 11: Aspectos microscópicos do ouro das brechas hidrotermais mineralizadas. (A) *Electrum* incluso em limonita bastante lixiviada que representa sulfetos da primeira geração de sulfetação que foram oxidados. (B) Ouro incluso em limonita, que representa sulfetos da primeira geração de sulfetação que foram oxidados, e em quartzo. (C) *Electrum* incluso em quartzo com limonitas associadas. (D) Ouro incluso em quartzo. Au: ouro/*electrum*; Lm: limonita; Py: pirita.

6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Baseado nos dados levantados nesse trabalho, a mineralização de ouro primária de Reriutaba exhibe características semelhantes às mineralizações de ouro orogênico descritas por Bohlke (1982), Groves (1993), Groves *et al.* (1998), McCuaig & Kerrich (1998), Goldfarb *et al.* (2001), Groves *et al.* (2003), Goldfarb *et al.* (2005), Groves & Santosh (2016), Gaboury (2019) e Groves *et al.* (2020).

Depósitos de ouro orogênico (BOHLKE, 1982; GROVES, 1993) estão associados com terrenos metamórficos do fácies xisto verde a granulito, esses depósitos se formaram do Arqueano ao Fanerozóico, geralmente durante processos de deformação compressional a transpressional em margens de placas convergentes em orógenos. Eventos termiais relacionados à subducção aumentam o gradiente geotérmico das sequências envolvidas na orogênese, iniciando e conduzindo a migração de fluidos hidrotermais para a crosta superior, resultando em

mineralizações de ouro em veios de quartzo (GROVES *et al.*, 1998; McCUAIG & KERRICH, 1998; GOLDFARB *et al.*, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; GROVES & SANTOSH, 2016; GABOURY, 2019; GROVES *et al.*, 2020). Essas mineralizações geralmente estão próximas a estruturas tectônicas regionais (zonas de cisalhamento, falhas *strike-slip*, falhas de empurrão, etc.) que atuaram como canais para o transporte dos fluidos hidrotermais. A partir da acumulação de fluidos hidrotermais em níveis crustais mais rasos, a pressão de fluidos é aumentada e induz fraturamento hidráulico acompanhado por fluxo massivo de fluidos hidrotermais que geram mineralizações na forma de brechas, *stockworks*, *sheeted veinlets* e veios de quartzo (COLVINE *et al.*, 1988; HODGSON, 1989; ORD *et al.*, 2012). As mineralizações normalmente estão situadas nas estruturas de segunda e/ou terceira ordem da estrutura principal, pois nesses espaços há menos *stress* e mais fluxos de fluidos hidrotermais. Logo, nesses locais as alterações hidrotermais são mais intensas e conseqüentemente onde as mineralizações se concentram. Alterações hidrotermais típicas envolvem a formação de albita, k-feldspato, biotita, muscovita, paragonita, epidoto, clorita, sericita, carbonatos e sulfetos (GROVES *et al.*, 1998; McCUAIG & KERRICH, 1998; GOLDFARB *et al.*, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; GROVES & SANTOSH, 2016; GABOURY, 2019; GROVES *et al.*, 2020).

A mineralização de ouro primária de Reriutaba está localizada no Domínio Ceará Central da Província Borborema (cinturão orogênico Neoproterozóico),

hospedada em rochas metavulcanos-sedimentares da Unidade Canindé do Complexo Ceará, rochas deformadas e metamorizadas no final do Neoproterozóico durante a Orogênese Brasileira/*Pan-African*, há cerca de 600 Ma (ARTHAUD, 2007; ARTHAUD *et al.*, 2008). Formou-se em falhas de segunda e/ou terceira ordem de direção ENE/WSW da Zona de Cisalhamento Reriutaba (estrutura tectônica regional), que devido a percolação de fluidos hidrotermais foram preenchidas por veios de quartzo mineralizados e alteraram hidrotermalmente as rochas encaixantes para brechas hidrotermais mineralizadas.

Cloritização, epidotização, sericitização, carbonatação (siderita ± ankerita), silicificação e sulfetação (pirita + galena + esfalerita + arsenopirita + calcopirita + bornita) são as principais alterações hidrotermais diretamente associadas a mineralização. A mineralização de ouro ocorreu acompanhada da silicificação, alteração hidrotermal mais abundante e pervasiva na zona mineralizada, e da sulfetação.

Na região de Ipu (sudoeste de Reriutaba), Sampaio & Scarpa (2017) caracterizaram uma importante ocorrência de ouro primária hospedada em metadiorito (recortado por *sheets* de álcalis-feldspato granito) do Arco Magmático de Santa Quitéria. Segundo Sampaio & Scarpa (2017), trata-se de uma mineralização aurífera sulfetada disseminada, composta por pirita + calcopirita + esfalerita + *electrum*. Albitização, potassificação, sericitização, sulfetação e silicificação são as principais alterações hidrotermais diretamente associadas a mineralização (SAMPAIO & SCARPA, 2017). Quanto a origem dessa ocorrência, devido a

associação litológica e o contexto geotectônico das rochas hospedeiras (granitoides do Arco Magmático de Santa Quitéria), e as alterações hidrotermais associadas a mineralização (albitização, potassificação, sericitização, etc.), Sampaio & Scarpa (2017) sugeriram uma origem magmática-hidrotermal similar à de depósitos *intrusion-related gold systems*.

Intrusion-related gold systems (THOMPSON *et al.* 1999; LANG *et al.*, 2000) são depósitos de ouro magmáticos-hidrotermais hospedados em intrusões ou nas rochas encaixantes das intrusões (THOMPSON *et al.* 1999; LANG *et al.*, 2000; LANG & BAKER, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; HART & GOLDFARB, 2005). Esses depósitos geralmente estão associados a intrusões tipo-I, metaluminosas, sub-alcalinas e reduzidas (raramente a óxidos associados a essas mineralizações) de composição intermediária a félsica de ambientes tectônicos acrescionários e colisionais (THOMPSON *et al.* 1999; LANG *et al.*, 2000; LANG & BAKER, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; HART & GOLDFARB, 2005). Alteração feldspática (albita e/ou k-feldspato), sericitização, silicificação, greisenização (clorita + carbonato + albita), alteração calcissilicática e argilitização são as alterações hidrotermais típicas associadas. A mineralização de ouro comumente ocorre associada a uma assembleia metálica rica em As, Bi, Mo, Sb, Te e W (pobre em metais base) após a sericitização ou a greisenização (THOMPSON *et al.* 1999; LANG *et al.*, 2000; LANG & BAKER, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; HART & GOLDFARB, 2005). Estruturas

tectônicas regionais e locais (zonas de cisalhamento, falhas, dobras, etc.) controlam a localização e a geometria desses depósitos, influenciando no alojamento dos magmas, no fluxo do fluido magmático-hidrotermal mineralizante e podendo formar diferentes arranjos de veios, diques e *sheeted dykes* mineralizados (THOMPSON *et al.* 1999; LANG *et al.*, 2000; LANG & BAKER, 2001; GROVES *et al.*, 2003; GOLDFARB *et al.*, 2005; HART & GOLDFARB, 2005).

Os dados apresentados nessa contribuição mostram que a mineralização de ouro primária de Reriutaba diverge em vários aspectos do modelo de *intrusion-related gold systems*. A mineralização de ouro primária de Reriutaba não está associada espacialmente com nenhuma intrusão. A assembleia metálica associada a essa mineralização é rica em Pb, Zn e Cu (metais base), e empobrecida em Bi, Mo, Sb, Te e W. Cloritização, epidotização, sericitização, carbonatação (siderita ± ankerita) e silicificação são as principais alterações hidrotermais diretamente associadas a mineralização, enquanto que alteração feldspática, alteração hidrotermal onipresente em *intrusion-related gold systems* (LANG & BAKER, 2001), e greisenização estão ausentes. Logo, a mineralização de ouro primária de Reriutaba deve mesmo ser do tipo ouro orogênico.

Embora esteja hospedada em rochas metamórficas do fácies anfíbolito, a mineralização de ouro orogênico de Reriutaba não tem nenhuma associação com o metamorfismo de alto grau. Segundo Ridley *et al.* (2000) dependendo da temperatura dos sistemas hidrotermais, os depósitos de

ouro orogênico podem apresentar assembleias de alteração hidrotermal de baixa temperatura, tal como sericita + carbonato + pirita, ou de mais altas temperaturas, tais como biotita + carbonato + pirita, biotita + anfibólio + pirrotita e biotita + diopsídio + pirrotita (assembleia de mais alta temperatura). A assembleia de alteração hidrotermal da mineralização de ouro orogênico de Reriutaba, constituída por clorita + epidoto + sericita + siderita + sulfetos, é tipicamente de baixa temperatura, contrastando com as paragêneses metamórficas de alta temperatura das rochas hospedeiras da Unidade Canindé do Complexo Ceará, indicando que a mineralização formou-se após o metamorfismo regional das rochas hospedeiras. Segundo Groves & Santosh (2016), mineralizações de ouro orogênico normalmente pós-datam o metamorfismo regional das sequências hospedeiras, em alguns casos a diferença é de vários milhões de anos. De acordo com Kerrich & Cassidy (1994), depósitos de ouro orogênico são formados no final da convergência, quando a arquitetura do cinturão está quase totalmente estruturada. Conforme Gaboury (2019), há vários exemplos de mineralizações de ouro orogênico que se formaram até 100 milhões de anos depois dos eventos acrescionários principais relacionados (e.g. JEMIELITA *et al.*, 1990; KERRICH & CASSIDY, 1994; OLIVO *et al.*, 2007; AUGUSTIN *et al.*, 2017). Logo, a formação da mineralização de ouro orogênico de Reriutaba está associada com hidrotermalismo de baixa temperatura que afetou as rochas metavulcanossedimentares da Unidade Canindé do Grupo Ceará após o pico do metamorfismo regional durante os

últimos estágios da Orogênese Brasileira.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Geologia (PPGG) do Departamento de Geologia (DEGEO) da Universidade Federal do Ceará (UFC), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – código de financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro com a manutenção das bolsas de mestrado. Também agradecem a Central Analítica da UFC, pelas análises químicas minerais por microscópio eletrônico de varredura (MEV), e Reinhardt Adolfo Fuck, pelo apoio financeiro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; HASUI, Yociteru; BRITO NEVES, Benjamim Bley de; FUCK, Reinhardt Adolfo. Províncias estruturais brasileiras. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 8., 1977, Campina Grande. **Atas...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ARAUJO, Mario Neto Cavalcanti de; ALVES DA SILVA, Fernando César; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz; HOLCOMBE, Rodney J. *Geometry and structural control of gold veins mineralizations in the Seridó Belt, northeastern Brazil. Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, n. 3, p. 337-348, 2002.
- ARAUJO, Mario Neto Cavalcanti de; VASCONCELOS, Paulo Marcos de Paula; ALVES DA SILVA, Fernando César; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz; SÁ, Jaziel Martins. *⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of gold mineralization in*

- Brasiliano strike-slip shear zones in the Borborema Province, NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences*, v. 19, n. 4, p. 445-460, 2005.
- ARCHANJO, Carlos J.; LAUNEAU, Patrick; HOLLANDA, Maria Helena Bezerra Maia de; MACEDO, José Wilson P.; LIU, Dunyi. *Scattering of magnetic fabrics in the Cambrian alkaline granite of Meruoca (Ceará state, northeastern Brazil). International Journal of Earth Sciences*. Alemanha, v. 98, n. 8, p. 1793-1807, 2009.
- ARTHAUD, Michel Henri. **Evolução neoproterozóica do grupo Ceará (Domínio Ceará Central): da sedimentação à colisão continental Brasileira**. 2007. 170 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- ARTHAUD, Michel Henri; CABY, Renauld; FUCK, Reinhardt Adolfo; DANTAS, Elton Luiz; PARENTE, Clóvis Vaz. *Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; BRITO NEVES, Benjamim Bley de; DE WIT, M. J. (Org.). West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. Londres: Geological Society, 2008. p. 49-67.
- ARTHAUD, Michel Henri; FUCK, Reinhardt Adolfo; DANTAS, Elton Luiz; SANTOS, Ticiano José Saraiva dos; CABY, Renauld; ARMSTRONG, Richard. *The Neoproterozoic Ceará Group, Ceará Central domain, NE Brazil: Depositional age and provenance of detrital material. New insights from U-Pb and Sm-Nd geochronology. Journal of South American Earth Sciences*, v. 58, n. 1, p. 223-237, 2015.
- AUGUSTIN, Jérôme; GABOURY, Damien; CREVIER, Michel. *Structural and gold mineralization evolution of the world-class orogenic Mana district, Burkina Faso: Multiple mineralization events over 150 million years. Ore Geology Reviews*, Holanda, v. 91, p. 981-1012, 2017.
- BOHLKE, John Karl. *Orogenic (metamorphic-hosted) gold-quartz veins. U. S. Geological Survey, Reston, Open-File Report 82-795*, 1982.
- BRITO NEVES, Benjamim Bley; PASSARELLI, Cláudia Regina; BASEI, Miguel Ângelo Stipp; SANTOS, E. J. *U-Pb age of some classic granites of the Borborema Province. In: South American Symposium of Isotope Geology*, 4., 2003, Salvador. **Short Papers...** Salvador: CBPM, 2003. p. 158-159.
- CASTRO, Neivaldo Araújo de. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taperuaba, domínio tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. 2004. 335 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- CAVALCANTE, José Carvalho; VASCONCELOS, Antonio Maurilio; MEDEIROS, Marcelo de Freitas; PAIVA, Iaponira Gomes; GOMES, Francisco Edson Mendonça; CAVALCANTE, Selêucis Nogueira; CAVALCANTE, José Emilson; MELO, Antônio Celso R. de; DUARTE NETO, Vicente Calixto; BENEVIDES, Homero Coelho. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000
- COLVINE, A. C.; FYON, J. A.; HEATHER, K. B.; MARMONT, S.; SMITH, P. M.; TROOP, D. G. *Archean lode gold deposits in Ontario. Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper*, Canadá, v. 139, p.1-136, 1988.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa de Jazimentos Auríferos Área CE-01 Reriutaba / Ipu – Ceará**. Recife, 1998.

- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Reriutaba Estudo de Viabilidade de Pesquisa**. Recife, 1977.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Reriutaba Plano de Prospecção Preliminar**. Recife, 1976.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Reriutaba Relatório Final de Pesquisa**. Recife, 1980.
- COSTA, Felipe Grandjean da; KLEIN, Evandro Luiz; GALARZA, Marco Antonio; PINÉO, Tércyo Rinaldo Gonçalves. *Structural features and age of gold mineralization in the Troia Massif, Borborema Province, NE Brazil: A Paleoproterozoic (~ 2029 Ma) hypozonal orogenic gold deposit overprinted by the late Neoproterozoic Brasileiro/Pan-African orogeny*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 93, p. 119-139, 2019.
- COSTA, Felipe Grandjean da; KLEIN, Evandro Luiz; HARRIS, Chris; ROOPNARAIN, Sherissa. *Fluid inclusion and stable isotope (O, H, C) constraints on the genesis of the Pedra Branca gold deposit, Troia Massif, Borborema Province, NE Brazil: An example of hypozonal orogenic gold mineralization*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 107, p. 476-500, 2019.
- COSTA, Felipe Grandjean da; KLEIN, Evandro Luiz; LAFON, Jean-Michel; MILHOMEM NETO, João Marinho; GALARZA, Marco Antonio; RODRIGUES, Joseneusa Brilhante; NALETO, João Luís Carneiro; LIMA, Rafael Guimarães Côrrea. *Geochemistry and U-Pb-Hf zircon data for plutonic rocks of the Troia Massif, Borborema Province, NE Brazil: Evidence for reworking of Archean and juvenile Paleoproterozoic crust during Rhyacian accretionary and collisional tectonics*. **Precambrian Research**, Holanda, v. 311, p. 167-194, 2018.
- COUTINHO, Maria Glícia da Nóbrega. **The geology of shear-zone hosted gold deposits in northeast Brazil**. 391 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Royal Holloway and Bedford New College, University of London, Londres, 1994.
- COUTINHO, Maria Glícia da Nóbrega; ALDERTON, David H. M. *Proterozoic lode gold deposits in the Borborema Province, northeast Brazil and their exploration significance*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 70, n. 3, p. 45-56, 1998.
- FERREIRA, Valderéz Pinto; SIAL, Alcides Nóbrega; JARDIM DE SÁ, Emanuel Ferraz. *Geochemical and isotopic signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 5, p. 439-455, 1998.
- FETTER, Allen Hutcheson. **U-Pb and Sm-Nd geochronological constraints on the crustal framework and geologic history of Ceará state, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of Gondwana**. 164 f. Tese (Doutorado em Geologia) – University of Kansas, Lawrence, 1999.
- GABOURY, Damien. *Parameters for the formation of orogenic gold deposits*. **Applied Earth Science (Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy)**, v. 128, n. 3, p. 124-133, 2019.
- GOLDFARB, Richard J.; BAKER, Timothy; DUBÉ, Benoît; GROVES, David I.; HART, Craig J. R.; GOSSELIN, Patrice. *Distribution, character and genesis of gold deposits in metamorphic terranes*. In: HEDENQUIST, Jeffrey W.; THOMPSON, John F.H.; GOLDFARB, Richard J.; RICHARDS, Jeremy P.

- (Org.). **Economic Geology 100th Anniversary Volume**. Estados Unidos da América: *Society of Economic Geologists*, 2005. p. 407–450.
- GOLDFARB, Richard J.; GROVES, David I.; GARDOLL, Stephen. *Orogenic gold and geologic time: a global synthesis*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 18, n. 1, p. 1-75, 2001.
- GROVES, David I. *The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia*. **Mineralium Deposita**, Alemanha, v. 28, n. 6, p. 366-374, 1993.
- GROVES, David I.; GOLDFARB, Richard J.; GEBRE-MARIAM, Musie; HAGEMANN, Steffen Gerd; ROBERT, François. *Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 13, n. 1, p. 7-27, 1998.
- GROVES, David I.; GOLDFARB, Richard J.; ROBERT, François; HART, Craig J. R. *Gold Deposits in Metamorphic Belts: Overview of Current Understanding, Outstanding Problems, Future Research, and Exploration Significance*. **Economic Geology**, Estados Unidos da América, v. 98, n. 1, p. 1-29, 2003.
- GROVES, David I.; SANTOSH, M. *The giant Jiaodong gold province: The key to a unified model for orogenic gold deposits?* **Geoscience Frontiers**, Pequim, v. 7, n. 3, p. 409-417, 2016.
- GROVES, David I.; SANTOSH, M; DENG, Jun; WANG, Qingfei; YANG, Liqiang; ZHANG, Liang. *A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration*. **Mineralium Deposita**, Alemanha, v. 55, n. 2, p. 275-292, 2020.
- HART, Craig J. R.; GOLDFARB, Richard J. *Distinguishing intrusion-related gold systems from orogenic gold systems*. In: *New Zealand Minerals Conference*, 1., 2005, Auckland. **Papers...** Auckland: 2005. p. 125-133
- HODGSON, C. Jay. *The structure of shear-related, vein-type gold deposits: a review*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 4, n. 3, p. 231-271, 1989.
- JEMIELITA, R. A.; DAVIS, D. W.; KROGH, T. E. *U-Pb evidence for Abitibi gold mineralization postdating greenstone magmatism and metamorphism*. **Nature**. Reino Unido, v. 346, p. 831-834, 1990.
- KERRICH, Robert; Cassidy, Kevin F. *Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation – Archean to present: A review*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 9, n. 4, p. 263-310, 1994.
- LANG, James R.; BAKER, Timothy. *Intrusion-related gold systems: the present level of understanding*. **Mineralium Deposita**. Alemanha, v. 36, n. 6, p. 477-489, 2001.
- LANG, James R.; BAKER, Timothy; HART, Craig J. R.; MORTENSEN, James Kenneth. *An exploration model for intrusion-related gold systems*. **Society of Economic Geologists Newsletter**, Estados Unidos da América, v. 40, n. 1, p. 7-15, 2000.
- LEGRAND, Jean Michel; MELO JÚNIOR, Germano; LUIZ-SILVA, Wanilson; SOUZA NETO, João Adauto. *Origin and classification of gold mineralization in the Seridó Fold Belt and basement rocks*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, 1996. p. 221-224.
- LUIZ-SILVA, Wanilson; LEGRAND, Jean Michel; XAVIER, Roberto Perez. *Composição e evolução dos fluidos no depósito aurífero São Francisco, Faixa Seridó, Província Borborema, nordeste do Brasil*. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, p. 579-588, 2000.

- MCCUAIG, T. Campbell; KERRICH, Robert. *P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 12, n. 1, p. 381-453, 1998.
- NOGUEIRA, Johnson Fernandes. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central**. 2004. 140 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.
- OLIVO, Gema Ribeiro; ISNARD, Hélène; WILLIAMS-JONES, Anthony E.; GARIÉPY, Clément. *Pb isotope compositions of pyrite from the C quartz-tourmaline vein of the siscoe gold deposit, Val d’Or, Quebec: constraints on the origin and age of gold mineralization*. **Economic Geology**. Estados Unidos da América, v. 102, n. 1, p. 137-146, 2007.
- ORD, Alison; HOBBS, Bruce E.; LESTER, Daniel R. *The mechanics of hydrothermal systems: I. Ore systems as chemical reactors*. **Ore Geology Reviews**, Holanda, v. 49, p. 1-44, 2012.
- RIDLEY, John R.; GROVES, David I.; KNIGHT, Joseph T. *Gold deposits in amphibolite and granulite facies terranes of the Archean Yilgarn craton, Western Australia: Evidence and implications for synmetamorphic mineralization*. **Reviews in Economic Geology**, Estados Unidos da América, v. 11, n. 1, p. 265-290, 2000.
- SAMPAIO, Caio César Fernandes Teixeira de Sampaio; SCARPA, Marina Vieira. **Caracterização da ocorrência primária de ouro e das unidades litoestratigráficas do município de Ipu-CE**. 2017. 169 f. Relatório de Graduação (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- SANTOS, Ticiano José Saraiva dos; FETTER, Allen Hutcheson; HACKSPACHER, Peter Christian; VAN SCHMUS, William Randall; NOGUEIRA NETO, José de Araújo. *Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 25, n. 3, p. 271-284, 2008.
- SOUZA NETO, João Adauto; LEGRAND, Jean Michel; VOLFINGER, Marcel; PASCAL, Marie-Lola; SONNET, Philippe. *W-Au skarns in the Neo-Proterozoic Seridó Mobile Belt, Borborema Province in northeastern Brazil: an overview with emphasis on the Bonfim deposit*. **Mineralium Deposita**, Alemanha, v. 43, n. 2, p. 185-205, 2008.
- TEIXEIRA, Marcus Leandro de Andrade. **Integração de dados aerogeofísicos, geológicos e isotópicos do limite norte do Complexo Tamboril – Santa Quitéria – CE (Província Borborema)**. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- THOMPSON, J. F. H.; SILLITOE, R. H.; BAKER, Timothy; LANG, James R.; MORTENSEN, James Kenneth. *Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces*. **Mineralium Deposita**, Alemanha, v. 34, n. 4, p. 323-334, 1999.