



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 555

**ESTUDOS DE INCLUSÕES FLUIDAS E ISOTÓPICOS (Sr, C,
O, H) E IMPLICAÇÕES PARA A MINERALIZAÇÃO
AURÍFERA NO ALVO ENCHE CONCHA, CINTURÃO
GURUPI, PARÁ, PA**

Dissertação apresentada por:

**REINALDO FONTOURA DE MELO JUNIOR
Orientador: Prof. Dr. Evandro Luiz Klein (CPRM)**

**BELÉM
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- M528e Melo Junior, Reinaldo Fontoura
Estudos de inclusões fluidas e isotópicos (Sr, C, O, H) e implicações para a mineralização aurífera no alvo Enche Concha, Cinturão Gurupi, Pará / Reinaldo Fontoura Melo Junior. — 2017.
xviii, 62 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Evandro Luiz Klein
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.
1. Cinturão Gurupi. 2. Enche Concha. 3. Formação Chega Tudo.
4. Inclusões fluidas. 5. Isótopos estáveis. I. Título.

CDD 553.098115



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ESTUDOS DE INCLUSÕES FLUIDAS E ISOTÓPICOS (Sr, C,
O, H) E IMPLICAÇÕES PARA A MINERALIZAÇÃO
AURÍFERA NO ALVO ENCHE CONCHA, CINTURÃO
GURUPI, PARÁ, PA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

REINALDO FONTOURA DE MELO JUNIOR

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA, linha de pesquisa MINERAIS PESADOS**

Data de Aprovação: 19 / 08 / 2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Evandro Luiz Klein

Orientador – CPRM

Prof. Dr. Valmir Silva Souza

Membro – UnB

Prof. Dr. Regis Munhoz Krás Borges

Membro - UFPA

Aos meus queridos pais

Maria Elizabeth Monteiro de Melo e Reinaldo Fontoura de Melo.

AGRADECIMENTOS

Registro os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Agradeço inicialmente à Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências (IG) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) pelo fornecimento de infraestrutura necessária para a realização deste trabalho.

Ao CNPq Pela Concessão da bolsa.

A empresa IAMGOLD por disponibilizar as amostras utilizadas nesse trabalho.

Ao meu orientador Evandro Luiz Klein.

A minha mãe Maria Elizabeth Monteiro de Melo e meu pai Reinaldo Fontoura de Melo pelo amor e dedicação a mim dedicados durante toda minha vida.

Aos meus irmãos Nelson Bruno Monteiro de Melo e Rafael Monteiro de Melo e a minha sobrinha Brunna Gomes de Melo e cunhada Tatianne Gomes de Melo, pelo amor incondicional.

Aos meus amigos geólogos Helder Thadeu, Rafael Guimarães e Bruna Nogueira e Romulo Amaral pelos diversos auxílios.

Ao Vitor Magno pelo apoio incondicional em todos os momentos. Aos amigos Bruno Gustavo e Rhuan Fernandes por se fazerem presentes sempre.

Ao Laboratório de Inclusões Fluidas da UFPA na pessoa do professor Dr. Régis Munhoz Krás Borges e ao Grupo de Geologia Econômica o qual fiz parte. Neste laboratório realizei as análises descritivas e microtermométricas das inclusões fluidas dessa dissertação e tirei diversas dúvidas com auxílio de colegas e professores. Sou muito grato.

Ao Laboratório de Microanálises da UFPA na pessoa do professor Dr. Claudio Lamarão, pela disponibilização do MEV, assim como a geóloga Msc. Gisele Marques que me auxiliou nas análises.

Ao Laboratório Para-Iso, na pessoa do professor Dr. Jean-Michel Lafon pelas análises isotópicas de Sr.

Ao Laboratório de Geocronologia da Universidade de Brasília (UnB) pelas análises de isótopos de carbono e oxigênio em carbonato.

Ao Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade de Cape Town, na África do Sul pelas análises de isótopos de oxigênio em quartzo.

Muito obrigado a todos!

“Tente mover o mundo, o primeiro passo será mover a si mesmo...”
(Platão)

RESUMO

O Cinturão Gurupi é um orógeno Neoproterozoico de orientação NNW-SSE desenvolvido na borda sul-sudoeste do Fragmento Cratônico São Luis, de idade Paleoproterozoica. Este cinturão é composto por sequências metavulcanossedimentares, gnaisses e várias gerações de rochas plutônicas que representam fragmentos retrabalhados da borda cratônica e porções do embasamento sobre o qual se ergueu o Cinturão Gurupi no Neoproterozoico. A Formação Chega Tudo é uma sequência metavulcanossedimentar do Riacyano, que se caracteriza por ser uma faixa estreita e alongada segundo a direção NW-SE, que se confunde com a Zona de Cisalhamento Tentugal, principal controladora das mineralizações auríferas do cinturão. As rochas dessa unidade apresentam-se invariavelmente xistosas e/ou milonitizadas, localmente dobradas, sendo esta unidade composta por uma alternância de rochas metavulcânicas, metavulcanoclásticas e metassedimentares. O Alvo Enche Concha é um dos prospectos auríferos hospedados na Formação Chega Tudo e aquisição apresentados estudos para melhor definição de suas características geológicas e aspectos genéticos. Os resultados mostram que as rochas hospedeiras são filitos, dacitos e zonas de brechas. Os filitos são rochas de coloração preta esverdeadas, constituídas essencialmente por quartzo, micas e carbonato. Os dacitos são rochas de coloração cinza esbranquiçada constituídas basicamente por plagioclásio e quartzo. As zonas brechadas são rochas fragmentárias, não coesas, sem trama tectônica evidente e constituídas por fragmentos de veios de quartzo e carbonato e por fragmentos de filito. Os tipos de alteração hidrotermal definidos são: (i) silicificação, (ii) sericitização, (iii) carbonatação e (iv) sulfetação, além da deposição do ouro. Foram identificados na associação de sulfetos pirita (predominante), esfalerita e calcopirita. O ouro ocorre como inclusões nos três sulfetos, com teores de até 6%, como identificado em análises por Microscopia Eletrônica de Varredura. As inclusões fluidas ocorrem em veios de quartzo e foram classificadas como do tipo 1 (aquocarbônicas bifásicas - H₂O líquido - CO₂ líquido ou H₂O líquido - CO₂ vapor), e do tipo 2 (aquosas monofásicas e bifásicas - H₂O líquido e H₂O líquido - H₂O vapor). As inclusões do tipo 1 forneceram valores de temperatura de fusão do CO₂ (TfCO₂) entre -56,6 e -57,3° C, o que permite inferir que o principal componente volátil da fase carbônica dessas inclusões é o CO₂. Os valores de temperatura de homogeneização do CO₂ (ThCO₂) estão entre 12 e 25,6° C (densidade global entre 0,7 e 1 g/cm³, densidade do CO₂ entre 0,2 e 1 g/cm³). Quanto a temperatura de fusão do clatrato (TfClat) foram obtidos resultados entre 6 e 8,4° C, o que define salinidades entre 4,4 e 5,3% em peso equivalente de NaCl. A temperatura de homogeneização total (Th) dessas inclusões

variou entre 251 e 369° C, com homogeneização para os estados líquido e vapor. As inclusões do tipo 2 apresentaram valores de temperatura de fusão do gelo (Tfg) entre -0,1 e -4,1° C, com temperaturas de homogeneização total (Tht) entre 167 e 342° C e homogeneização para a fase líquida. Estas inclusões apresentaram valores baixos de salinidade, entre 0,18 e 6,3% em peso equivalente de NaCl, e densidade global entre 0,7 e 0,9 g/cm³. A coexistência de inclusões aquosas e aquocarbônicas em um mesmo intervalo de Tht, além de inclusões que homogeneizaram para a fase líquida e para a fase vapor, sugerem processos de imiscibilidade de fluidos. A composição isotópica do oxigênio e carbono foi determinada em quartzo e calcita hidrotermais e do hidrogênio foi determinada em inclusões fluidas. O quartzo mostra valores de $\delta^{18}\text{O}$ de +15,25 a +17,74‰. Os valores de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ em calcita variam, respectivamente, entre +14,32 e +16,24‰ e -9,83 a -15,12‰. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ inferiores a -10‰ sugerem contribuição de C orgânico das rochas encaixantes. Valores de δD obtidos dos fluidos de inclusões forneceram resultados de -25 e 28‰. O conjunto de valores (O-H) sugere composição metamórfica para os fluidos mineralizantes. A composição isotópica do estrôncio obtida em calcita hidrotermal mostra baixas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, que variam de 0,702699 e 0,705141, sendo pouco radiogênicas. Estes resultados indicam origem de fontes profundas da crosta inferior ou manto e não devem ter contribuição das rochas regionais do Cinturão Gurupi. Os dados integrados indicam que a mineralização no Alvo Enche Concha possui características muito similares às dos demais depósitos de ouro orogênico do Cinturão Gurupi.

palavras-chave: Cinturão Gurupi. Enche Concha. Formação Chega Tudo. Inclusões fluidas. Isótopos estáveis. Isótopos radiogênicos.

ABSTRACT

The Gurupi Belt is a Neoproterozoic orogen of NNW-SSE orientation developed at the south-southwest margin of the San Luis Cratonic Fragment, of Paleoproterozoic age. The belt is composed of metavolcano-sedimentary sequences, gneisses and several generations of plutonic rocks representing reworked fragments of the cratonic border and portions of the basement on which the Gurupi Belt developed in the neoproterozoic. The Chega Tudo Formation, the main host for gold mineralization in the Gurupi belt, is a metavolcano-sedimentary sequence that is characterized by being a narrow and elongated band in the NW-SE direction. The rocks of this unit comprise an alternation metavolcanic, metavolcanoclastic and metasedimentary varieties, which are invariably schistose and/or mylonitic, and locally folded. Enche Concha is one of the gold prospects that occur in the Chega Tudo Formation and a better definition of its geological characteristics and genetic aspects is presented here. The host rocks are phyllites, dacites and breccia zones. The phyllites are rocks of blackish greenish colors, consisting essentially of quartz, micas and carbonate. Dacites are whitish gray-colored rocks consisting primarily of plagioclase and quartz. The breccias are fragmented, non-cohesive rocks, with no obvious tectonic fabric consisting of fragments of quartz and carbonate veins, and of fragments of phyllites. The types of hydrothermal alteration defined in the target was as follows: (i) silicification, (ii) sericitization, (iii) carbonatization and (iv) sulfidation, along with precipitation of gold. The sulfides are mainly pyrite, along with sphalerite and chalcopyrite. Gold occurs as inclusions in the three sulfide minerals, with concentrations of up to 6%, as identified by analyzes of Scanning Electron Microscopy. The fluid inclusions were classified as type 1 (biphasic aqueous-carbonic - H₂Oliquid - CO₂liquid and H₂Oliquid - CO₂vapor) and type 2 (aqueous, single-phase and two-phase H₂Oliquid and H₂Oliquid - CO₂vapor). Type 1 inclusions provided CO₂ melting temperature values (TfCO₂) between -56.6 and -57.3°C, which allows inferring that the main volatile component of the carbonic phase of these inclusions is CO₂. The CO₂ homogenization temperature values (ThCO₂) are between 12 and 25.5°C (global density between 0.7 and 1 g/cm³, CO₂ density between 0.2 and 1 g/cm³). As for the melting temperature of the clathrate (TfClat), results were obtained between 6 and 8.4°C, which gives salinities between 4.4 and 5.5 wt% NaCl equiv. The total homogenization temperature (Tht) of these inclusions varied between 251 and 369°, with homogenization occurring both for the liquid and vapor phases. Type 2 inclusions presented values of melting temperature of the ice (Tfg) between -0.1 and -4.1 °C, and Tht values between 167 and 342°C, with homogenization occurring for the liquid phase. These inclusions presented low values of salinity, between 0.18 and 6.3 wt.% in NaCl

equiv. weight, and global density between 0.7 and 0.9 g/cm³. The coexistence of aqueous and aqueous-carbonic inclusions over the same range of Tht, in addition to inclusions that homogenized for the liquid phase and for the vapor phase, suggest fluid immiscibility. The isotopic composition of oxygen and carbon was determined hydrothermal quartz and calcite, whereas hydrogen isotopic compositions were obtained from inclusion fluids. The values of $\delta^{18}\text{O}$ in quartz vary from +15.25 to +17.74‰. The values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in calcite range, respectively, from +14.32 and +16.24‰ and from -9.83 to -15.12‰. Values of $\delta^{13}\text{C}$ below -10‰ suggest contribution of organic C from the host rocks. Values of δD extracted from the inclusion fluids gave results of -25 and -28‰. The isotopic results suggest metamorphic composition for the mineralizing fluids at Enche Concha. The strontium isotopic composition was determined in hydrothermal calcite. The analyzed samples have low, little radiogenic $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, ranging from 0.702699 and 0.705141. These results indicate origin of deep sources of the lower crust or mantle and should not have contribution of the regional rocks of the Gurupi Belt. As a whole, the integrated data indicate that the Enche Concha shares characteristics with those of orogenic gold deposits, which are widespread in the Gurupi belt.

key-words: Gurupi Belt. Enche Concha. Chega Tudo Formation. Fluid Inclusions. Stable isotopes. Radiogenic isotopes.