



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 530

**MORFOLOGIA E QUÍMICA MINERAL DE ZIRCÃO E
CASSITERITA, EM CONCENTRADOS DE BATEIA, COMO
GUIA PROSPECTIVO PARA MINERALIZAÇÕES DE Sn NA
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA**

Dissertação apresentada por:

LUCIANO CASTRO DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (UFPA)

**BELÉM
2018**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Biblioteca do Instituto de Geociências/UFPA-Belém-PA**

- S586m Silva, Luciano Castro da.
Morfologia e química mineral de zircão e cassiterita, em concentrados de bateia, como guia prospectivo para mineralizações de Sn na Província Estanífera de Rondônia / Luciano Castro da Silva. – 2018.
xvii, 63 f. : il. ; 30 cm
- Orientador: Claudio Nery Lamarão
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2018.
1. Zircão - Rondônia. 2. Cassiterita - Rondônia. 3. Microscopia Eletrônica de Varredura. I. Título.

CDD 22. ed. – 549.62098111

Elaborada por Hélio Braga Martins - CRB-2/698



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**MORFOLOGIA E QUÍMICA MINERAL DE ZIRCÃO E
CASSITERITA, EM CONCENTRADOS DE BATEIA, COMO
GUIA PROSPECTIVO PARA MINERALIZAÇÕES DE Sn NA
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

LUCIANO CASTRO DA SILVA

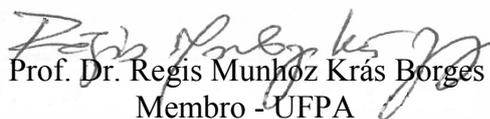
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

Data de Aprovação: 23 / 07 / 2018

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão
Orientador - UFPA


Prof. Dr. Hilton Túlio Costa
Membro - MPEG


Prof. Dr. Regis Munhoz Krás Borges
Membro - UFPA

Este trabalho é dedicado à minha esposa Ticiane, meus avós José (*In memoriam*) e Rosa, minha mãe Djanira e meu sobrinho Davi.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo e de todos, agradeço a Deus pela vida, pelo apoio espiritual, material e por tudo que fez e ainda fará na minha vida. Toda a honra e glória ao Rei do universo.

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Geociências (IG), ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) e à Linha de Pesquisa em Quartzo e Zircão (LPQZ) pela infraestrutura necessária para a realização desta dissertação. Ao Laboratório de Microanálises por todos os dias de análises, que não foram pouco.

À CPRM – Serviço Geológico do Brasil por investir no meu aprimoramento técnico-científico, liberando-me das minhas atividades profissionais para a realização desta dissertação. A Residência de Porto Velho por liberar as amostras e por me ensinar a dar meus primeiros passos como profissional. Ao LAMIM-BE pela infraestrutura fornecida para que eu pudesse executar a preparação das amostras e pelas análises de MEV.

Ao meu orientador, Cláudio Nery Lamarão, por todas as discussões, apoio, compreensão e incentivo. Sou grato a ele por me orientar mesmo morando em outro Estado. Por sempre facilitar o meu trabalho e pelo desafio de desenvolver uma nova metodologia.

Ao colega de trabalho, padrinho de casamento e irmão mais velho Dalton Rosemberg pelo apoio na cartografia, pelas discussões geológicas e por todo suporte técnico e emocional. Ao colega Kauê Seoane pelo apoio em, praticamente, todas as etapas desta dissertação, sempre pronto a pôr a mão-na-massa.

Ao colega Cassiano Castro por sugerir o tema desta dissertação e pelo apoio como chefe imediato. Ao Colega Marcelo Vasquez pelas discussões geológicas, por ter me ensinado a operar o MEV, pelos TB de artigos repassados e por todo incentivo profissional.

Aos Colegas Bruno Portugal e Ana Paula Corrêa por analisar várias amostras, principalmente quando ainda estava em Rondônia. À colega Gisele Marques por todo conhecimento repassado e apoio na aquisição dos dados. À colega Aline Prado por me ajudar na seleção das amostras e na fase de separação mineral. À colega Maria Rosalva por todos ensinamentos no laboratório.

Aos colegas Marcos Quadros e Tiago Buch por todas as discussões e troca de conhecimento sobre a área estudada.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, Victor Henrique, Kauê Seoane, Pablo Watanabe, Paulo Sérgio, Jhon Afonso, Saulo Nunes, João Paulo Queiroz, Bruno Portugal, Dalton Rosemberg, Tiago Buch, Aline Prado, Magno César, Vanessa Freitas, Marcos

Quadros, Lívio Wagner, Caio Gurgel, Thomas Moraes e a tantos outros que não haveria espaço suficiente para citar.

À minha mãe, avós e tios por acreditar em mim e ter me dado o apoio necessário para chegar onde estou, mesmo com tantas dificuldades no meio do caminho. Por fim, agradeço a minha esposa por todo incentivo, amor e paciência nas horas de estresse, por entender minhas ausências, por não me deixar desistir nas horas de dificuldade e por estar comigo nos momentos bons e ruins.

“Antes que se originassem os montes e formasses o universo e a terra, de eternidade a eternidade, tu és Deus.”
Salmos 90:2

RESUMO

Os conteúdos de elementos-traço em determinados minerais podem ajudar a revelar processos tectônicos, petrológicos, hidrotermais ou intempéricos aos quais foram submetidos. O zircão, além de ser um mineral acessório comum, química e fisicamente resistente a transporte sedimentar e a processos intempéricos, metamórficos de alta temperatura e de anatexia, apresenta certos elementos-traço em sua estrutura que tem permitido associá-lo ao seu tipo de rocha-fonte, seu ambiente de cristalização e a determinados depósitos minerais. Teores elevados de Hf e baixas razões Zr/Hf em zircões são características de granitos mineralizados em Sn e metais associados (Nb, Ta, ETR, etc.). Concentrações de Y e Nb, elementos pouco móveis em meio aquoso, em granitos tipo A são utilizados como bons indicadores da natureza crustal ou juvenil dos magmas a partir dos quais essas rochas cristalizaram. Cristais de zircão tendem a incorporar Y e Nb em sua estrutura e podem apresentar razões Y/Nb próximas a razão inicial do seu magma gerador. A partir da morfologia e composição de cristais detríticos de zircão é possível estimar a distância de transporte da amostra à sua fonte. As composições químicas de cassiteritas também podem ser utilizadas para indicar fontes e processos geradores. O presente trabalho é baseado em imagens de MEV e em análises semiquantitativas por EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*) de cristais detríticos de zircão e cassiterita provenientes de concentrados de bateia da Província Estanífera de Rondônia (PER). O objetivo principal é caracterizar as fontes desses minerais, confirmar a localização de depósitos em exploração e indicar áreas potenciais para a prospecção de Sn e metais associados. A utilização de morfologia e química mineral de grãos detríticos em escala regional podem funcionar como uma ferramenta rápida e eficiente para a prospecção de determinados bens minerais. A área de trabalho, localizada na PER, porção centro-norte do Estado de Rondônia, está contida nas folhas Alto Jamari SC-20-Y-B e Ariquemes SC-20-V-D, ambas mapeadas pela CPRM na escala 1:250.000. As amostras de concentrados de bateia, oriundas desses projetos, foram coletadas em drenagens ativas, a partir de um volume de 20 litros de sedimentos retidos em peneiras de 5 e 0,5 mm. A partir desses concentrados foram separados minerais pesados por microbateamento com água, utilizando líquidos pesados (bromofórmio), realizada separação magnética através de ímã de Nd de mão, e separados cristais de zircão (cem grãos) e cassiterita (todos os grãos triados em 5g de amostra de concentrado) utilizando uma lupa binocular, além de critérios como cor, granulometria e morfologia representativas das populações desses minerais. Posteriormente, foram confeccionados *mounts* de zircão e cassiterita para análises por MEV-EDS. Os cristais de zircão com teores de Hf >3% foram interpretados como provenientes de rochas com elevado

potencial a mineralizações em Sn e metais associados. Esses cristais foram utilizados no tratamento geoestatístico e comparados com o posicionamento geográfico de minas e garimpos de Sn, conhecidos na área de estudo, para aferir a veracidade do método. O tratamento geoestatístico utilizou o método de krigagem ordinária e, a partir dos resultados, foram geradas curvas de isotores. Os mapas de isotores, utilizando razões Zr/Hf em zircões detríticos de concentrados de bateia se mostraram eficientes, pois coincidiram com depósitos de cassiterita conhecidos na região. Na área selecionada para este estudo identificou-se uma variedade morfológica e composicional significativa dos grãos detríticos de zircão. Mesmo nos cristais mais enriquecidos em Hf ($Hf > 3\%$), esses teores e suas razões Zr/Hf variam consideravelmente. Os cristais mais alterados tendem a ser mais enriquecidos em Hf e a apresentar razões Zr/Hf mais baixas, são mais fraturados e frágeis ao transporte, indicando fontes proximais. Por outro lado, os grãos menos alterados possuem baixos teores de Hf, altas razões Zr/Hf e se mostram pouco a moderadamente arredondados, indicando fontes proximais a intermediárias. Enquanto Zr e Hf são variáveis dentro do mesmo grão, os teores de Y e Nb são praticamente constantes. No diagrama ternário Hf-Nb-Y, percebe-se que os zircões aqui estudados são enriquecidos em Nb e empobrecidas em Y, enquanto na Província Estanífera do Sul do Pará (PESP) e Pitinga apresentam comportamento inverso. Os altos valores de Nb nos zircões deste trabalho e os de Y na PESP são aqui interpretados como uma resposta da fonte magmática onde foram formados. Enquanto os zircões da PER são oriundos de rochas com valores de $\epsilon Nd_{(t)}$ positivos a próximos de zero, os valores de $\epsilon Nd_{(t)}$ da PESP são fortemente negativos. Assim, pode-se admitir que zircões com altas razões Y/Nb seriam provenientes de fontes predominantemente crustais, enquanto zircões com baixas razões Y/Nb teriam como origem fontes mistas (crustais e mantélicas). Os cristais de cassiterita deste estudo são prismáticos ou granulares, com terminações piramidais, bordas embaiadas sugerindo transporte sedimentar ausente a moderado. Possuem alto teor de pureza (Sn entre 73 e 79%), com concentrações de cátions substituintes do Sn em torno de 1,5%. Os altos teores relativos de Nb e Ta indicam fontes magmáticas e os teores subordinados de Ti e Fe mostram o estágio hidrotermal em que estes minerais foram gerados.

Palavras-chave: Zircão. Cassiterita. MEV. Província Estanífera de Rondônia.

ABSTRACT

The contents of trace elements in certain minerals could help to reveal tectonic, petrologic, hydrothermal or weathering processes which it was submitted. In addition to being a common accessory mineral, chemically and physically resistant to sedimentary transport and weather, high temperature metamorphic processes and anatexis, the abundance of certain trace elements in igneous zircons has allowed a connection with its type of rock source, its environment of crystallization and with certain mineral deposits. High levels of Hf and low Zr / Hf ratios in zircons are characteristic of mineralized granites in Sn and associated metals (Nb, Ta, ETR, etc.). Concentrations of Y and Nb, elements slightly mobile in aqueous environment, of granites type A can be used as good indicators of the crustal or juvenile nature of the magmas from which these rocks crystallized. Zircon crystals tend to incorporate Y and Nb in their structure and may present Y / Nb ratios close to the initial ratio of their generating magma. From the morphology and composition of zircon detrital crystals, it is possible to estimate the number of sedimentary rocks in the active river beds and their transport distance. The chemical compositions of cassiterites can also be used to indicate sources and generating processes. The present work is based on MEV images and semi-quantitative analyzes by EDS (Energy Dispersive Spectrometry) of zircon and cassiterite detrital crystals from baton concentrate of the Rondônia Tin-Province (RTP). The main objective is to characterize the sources of these minerals, to confirm the location of deposits in exploration and to indicate potential areas for the prospection of Sn and associated metals. The use of morphology and mineral chemistry of detrital grains on a regional scale could be used as a fast and efficient tool for the prospecting of certain mineral goods. The work area, located in RTP, north-central portion of State Rondônia, is contained in the sheets Alto Jamari SC-20-Y-B and Ariquemes SC-20-V-D, both mapped by CPRM in the 1: 250,000 scale. Samples of baton concentrate from these projects were collected in active drainage from an initial volume of 20 liters of sediment retained between strainer of 5 and 0.5 mm. From these concentrates, light minerals were separated by micro-batching with water, heavy liquids (bromoform), magnetic by hand Nd magnet, and crystals of zircon (one hundred grains) and cassiterite (all grains screened in 5g of concentrate) using a binocular loupe, in addition of criteria such as color, granulometry and morphology representative of the populations of these minerals. Subsequently, zircon and cassiterite mounts were prepared for MEV / EDS analysis. The zircon crystals with contents of Hf > 3% were interpreted as coming from rocks with high potential to mineralization in Sn and associated metals. These crystals were used in the geostatistical treatment and compared with the

geographic positioning of mines and digging of Sn, known in the study area, to verify the veracity of the method. The geostatistical treatment used the ordinary kriging method and, from the results, isotores curves were generated. The isothermal maps, using Zr / Hf ratios in detrital zircons of baton concentrate, were efficient because they coincided with known cassiterite deposits in the region. In the area selected for this study a significant compositional and morphological variety of zircon detrital grains were identified. Even in the most Hf enriched crystals (Hf>3%), these contents and their Zr / Hf ratios vary strongly. The most altered crystals tend to be more enriched in Hf and have lower Zr / Hf ratios, are more fractured and fragile to transport, indicating proximal sources. On the other hand, the less altered grains have low Hf contents, high Zr / Hf ratios and show little to moderately rounded, indicating proximal to intermediate sources. While Zr and Hf are variable within the same grain, the contents of Y and Nb are virtually constant. In the ternary diagram Hf-Nb-Y, the zircons of the RTP are enriched in Nb and impoverished in Y, while in the South of Pará Tin-Province (SPTP) and Pitinga they present Y enrichment and Nb impoverishment. The high values of Nb in the zircons of RTP and those of Y in the SPTP are interpreted here as a response of the magmatic source where they were formed. While the zircons of RTP are from rocks with positive $\epsilon\text{Nd} (t)$ values close to zero, the $\epsilon\text{Nd} (t)$ values of the SPTP are strongly negative. Thus, it can be assumed that zircons with high Y / Nb ratios would come from predominantly crustal sources, while zircons with low Y / Nb ratios would have mixed (crustal and mantle) sources. Cassiterite crystals of this study are prismatic or granular, with pyramidal terminations, bordered edges, suggesting absence to moderate sedimentary transport. They have high purity content (Sn between 73 and 79%) with concentrations of substitution cations of Sn around 1.5%. The high relative contents of Nb and Ta indicate magmatic sources and the subordinate Ti and Fe contents show the hydrothermal stage in which these minerals were generated.

Key-words: Zircon. Cassiterite. SEM. Rondônia Tin-Province.