



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 600

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA
ANÁLISE QUÍMICA DE INCLUSÕES SILICÁTICAS EM
CRISTAIS DE QUARTZO: ESTUDO DE CASO EM
GRANITOS ESTANÍFEROS DA MINA PITINGA (AM)**

Dissertação apresentada por:

GABRIELLE CRISTINE SILVA DOS SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Régis Munhoz Krás Borges (UFPA)

**BELÉM - PARÁ
2021**

**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)**

- S237d Santos, Gabrielle Cristine Silva dos.
Desenvolvimento de uma metodologia para análise química de inclusões silicáticas em cristais de quartzo: estudo de caso em granitos estaníferos da mina pitinga (am). / Gabrielle Cristine Silva dos Santos. — 2021.
xv,55 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Régis Munhoz Krás Borges
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2021.
1. Mineralogia: pesquisa. 2. Metodologia. 3. Inclusões silicáticas. 4. Inclusões silicáticas. 5. Microsonda eletrônica. I. Título.

CDD 549.072



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

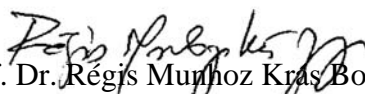
**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA
ANÁLISE QUÍMICA DE INCLUSÕES SILICÁTICAS EM
CRISTAIS DE QUARTZO: ESTUDO DE CASO EM
GRANITOS ESTANÍFEROS DA MINA PITINGA (AM)**

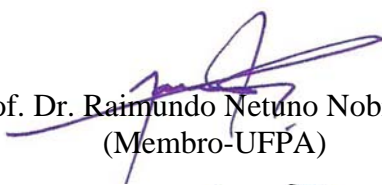
Dissertação apresentada por:

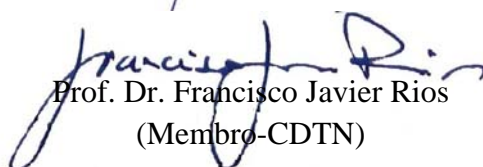
GABRIELLE CRISTINE SILVA DOS SANTOS

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOLOGIA , linha de pesquisa EVOLUÇÃO CRUSTAL E METALOGÊNESE.

Data de Aprovação: 02 / 05 / 2021


Prof. Dr. Régis Munhoz Kras Borges
(Orientador-UFPA)


Prof. Dr. Raimundo Netuno Nobre Villas
(Membro-UFPA)


Prof. Dr. Francisco Javier Rios
(Membro-CDTN)

AGRADECIMENTOS

- Registro os meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.
- Agradeço 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 Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de estudo.
- Ao meu orientador Prof. Dr. Régis Munhoz Krás Borges, pela paciente orientação.
- Ao Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão, à geóloga Gisele Marques e às técnicas Ana Paula pelo apoio com a Microsonda eletrônica e MEV e as sugestões e discussões acerca do trabalho desenvolvido.
- Ao Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa agradeço pela utilização do Laboratório de Análises Químicas, e ao Técnico Natalino Valente Moreira de Siqueira pela orientação e acompanhamento durante os ensaios de aquecimento.
- Aos amigos Joelma e Bruno do laboratório de laminação da UFPA que me deram todo o suporte na montagem das amostras utilizadas nesse trabalho.
- Ao Dr. Hilton Costi pela concessão das amostras utilizadas nesse trabalho e todas as sugestões e críticas ao longo do desenvolvimento dessa dissertação.
- A minha família e amigos por todo o apoio ao longo dessa jornada.

RESUMO

Inclusões silicáticas (*melt inclusions*) são pequenas gotas de fusões silicáticas aprisionadas em diferentes minerais magmáticos durante seu crescimento, e podem ser encontradas tanto em rochas vulcânicas quanto plutônicas. Facilmente identificadas em rochas vulcânicas, uma das maiores dificuldades no estudo dessas inclusões em rochas plutônicas é a sua identificação, pois, após o seu aprisionamento, sua evolução resulta em cristalização total ou parcial. Com base na literatura internacional, elas fornecem importantes informações sobre a origem, natureza dos magmas e sua evolução petrológica. Além disso, a detecção de metais nas inclusões é uma evidência geológica direta da associação genética desses elementos com os líquidos magmáticos (fonte) e de importância vital no estudo de depósitos ortomagmáticos ou hidrotermais. As técnicas de estudo de inclusões silicáticas para fins petrológicos e metalogenéticos têm evoluído muito rapidamente nas últimas quatro décadas, mas é uma metodologia que ainda não foi implantada no Brasil, tanto pela ausência de laboratórios com equipamentos adequados, quanto pela inexistência de grupos de pesquisa engajados nessa linha de pesquisa. Recentemente, foram desenvolvidos estudos pioneiros no CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear), em Belo Horizonte (MG), com amostras de granitos estaníferos da mina Pitinga (AM), por meio de ensaios microtermométricos de alta temperatura e análises químicas de elementos-traço por LA-ICP-MS, em inclusões silicáticas hospedadas em cristais de quartzo desses granitos. No entanto, os ensaios foram realizados em lâminas bipolidas das rochas, o que inviabilizou a análise química de elementos maiores por microsonda eletrônica, uma vez que as inclusões se encontravam muito profundas nos cristais de quartzo, e qualquer tentativa de polimento para expor as inclusões inutilizaria as amostras. Com base nessa experiência preliminar, e tendo como objetivo central, este trabalho desenvolveu uma técnica de preparação de concentrados de cristais de quartzo contendo inclusões silicáticas, utilizando as mesmas amostras de granitos estaníferos da mina Pitinga (AM), representantes das fácies mais tardias do plúton Madeira, denominadas feldspato alcalino-granito *hipersolvus* porfirítico e albita-granito de núcleo. Assim, os trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Inclusões Fluidas, com o apoio imprescindível da Oficina de Laminação, do Laboratório de Análises Químicas e do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da UFPA, permitiram que a pesquisa estabelecesse uma rotina envolvendo as seguintes etapas: estudos petrográficos de detalhe; britagem e moagem de amostras; separação granulométrica; preparação de concentrados de cristais de quartzo;

experimentos de aquecimento e resfriamento em forno mufla; seleção de cristais com inclusões adequadas; montagem dos cristais em moldes com resina epóxi e posterior polimento; monitoramento e imageamento das inclusões através de MEV; análises químicas por EDS e, finalmente, análises químicas de elementos maiores (WDS) por microsonda eletrônica. Os dados microanalíticos (elementos maiores) obtidos especialmente naquelas inclusões silicáticas contendo duas ou mais fases sólidas (vidro, glóbulos esféricos), demonstraram que a técnica de preparação proporcionou uma boa exposição das inclusões. Dessa forma, a metodologia desenvolvida neste trabalho é relevante para o estudo de inclusões silicáticas e pode ser aplicada para a preparação de concentrados de qualquer mineral magmático transparente (quartzo, olivina, piroxênio, plagioclásio, etc.), hospedeiro de inclusões silicáticas, e que podem ser analisadas por quaisquer das técnicas microanalíticas tradicionais (microsonda eletrônica, LA-ICP-MS, espectroscopia Raman, MEV, etc.).

Palavras-chave: Minerais- pesquisa. Metodologia. Minerais magmáticos. Inclusões silicáticas. Quartzo. Mev. Microsonda eletrônica.

ABSTRACT

Silicate inclusions (melt inclusions) are small globules of silicate melt, containing some combinations of crystals, glass and vapor, entrapped in different minerals during their growth, and can be found in volcanic and plutonic rocks. They are easily identified in volcanic rocks. On the other hand, one of the major difficulties in the study of melt inclusions in plutonic rocks is their identification, because, after being trapped, their evolution results in total or partial crystallization. Based on international literature, they provide important information about the origin, nature of magmas and their petrological evolution. In addition, the detection of metals in melt inclusions is a unequivocal geological evidence of the genetic association of these elements with magmatic liquids (source) and is crucial in the study of orthomagmatic or hydrothermal deposits. The techniques for studying silicate inclusions for petrological and metallogenic purposes have evolved very rapidly in the last four decades, but it is a methodology that has not yet been implemented in Brazil, both due to the absence of laboratories with adequate equipment and the inexistence of research groups engaged in this field. Recently, pioneering studies were developed at the CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear), in Belo Horizonte (MG), with the tin granites of the Pitinga mine (AM), through high temperature microthermometric experiments and analysis of trace elements by LA-ICP-MS, in silicate inclusions hosted in quartz crystals of these granites. However, the tests were carried out on doubly-polished sections, which made it difficult to perform chemical analyzes of major elements by electron microprobe, since the inclusions were very deep in the quartz crystals, and any attempt at polishing to expose the inclusions would damage the samples. Based on this preliminary experience, this specific work is a technique for preparing quartz crystal concentrates containing silicate inclusions, using as such tin granites from the Pitinga mine (AM), representatives of the later facies of the Madeira pluton, porphyritic hypersolvus alkali feldspar granite and albite-rich granite. Thus, the developed work at the Laboratório de Inclusões Fluidas, with the crucial support of the Oficina de Laminação, the Laboratório de Análises Químicas and the Laboratório de Microanálises of the Instituto de Geociências of the Universidade Federal do Pará (UFPA), allowed the research to establish a routine involving the following steps: detailed petrography; crushing and grinding of the samples; granulometric separation; preparation of quartz crystal concentrates; muffle furnace heating and cooling experiments; selection of crystals with appropriate inclusions; assembly of the crystals in mounts with epoxy

resin and subsequent polishing; monitoring and imaging of inclusions through the SEM; particle analyzes by EDS and, finally, analysis of major element (WDS) by electron microprobe. The microanalytical data (major elements) chosen especially in those silicate inclusions containing two or more solid phases (glass, spherical globules), demonstrated that the preparation technique provided a good exposure of the inclusions. In this way, the methodology developed in this work is relevant to the study of silicate inclusions and can be applied for the preparation of concentrates of any transparent magmatic mineral (quartz, olivine, pyroxene, plagioclase, etc.), host of silicate inclusions, and that can be analyzed by any of the traditional microanalytical techniques (electron microprobe, LA-ICP-MS, Raman spectroscopy, SEM, etc.).

Key-words Minerals- research. Methodology. Magmatic minerals. Silicatic inclusions. Quartz. SEM. Electron microprobe.