



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

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO N° 665**

**MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO DE RUTILO COMO GUIA  
PROSPECTIVO PARA DEPÓSITOS DE AU: O EXEMPLO DO  
DEPÓSITO SÃO JORGE, PROVÍNCIA MINERAL DO  
TAPAJÓS**

**Dissertação apresentada por:**

**MARCOS FLÁVIO COSTA MEDEIROS**

**Orientador: Pr. Dr. Claudio Nery Lamarão (UFPA)**

**BELÉM – PARÁ  
2025**

**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)**

---

M488m Medeiros, Marcos Flávio Costa.  
Morfologia e composição de rutilo como guia prospectivo para depósitos de Au: o exemplo do depósito São Jorge, Província Mineral do Tapajós. / Marcos Flávio Costa Medeiros. — 2025.  
xiv, 53 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2025.

1. Geoquímica de rutilo. 2. Depósitos de Au. 3. Província Mineral do Tapajós. I. Título.

CDD 551.908115

---



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

**MORFOLOGIA E COMPOSIÇÃO DE RUTILO COMO GUIA  
PROSPECTIVO PARA DEPÓSITOS DE AU: O EXEMPLO DO  
DEPÓSITO SÃO JORGE, PROVÍNCIA MINERAL DO  
TAPAJÓS**

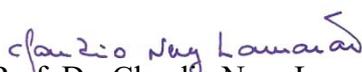
**Dissertação apresentada por:**

**MARCOS FLÁVIO COSTA MEDEIROS**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA e Linha de Pesquisa EVOLUÇÃO CRUSTAL E  
METALOGÊNESE.**

Data de Aprovação: 18 / 03 / 025

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão  
Orientador – UFPA

  
Prof. Dr. Leonardo Evangelista Lagoeiro  
Membro – UFPR

  
Prof. Dr. Carlos Marcello Dias Fernandes  
Membro – UFPA

*A todos que ajudaram na finalização deste trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Pará (UFPA), ao Instituto de Geociências, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, por todo suporte disponibilizado para a elaboração da dissertação;
- Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudo;
- À minha família, em especial a minha mãe, por sempre estar ao meu lado e na torcida durante todo este ciclo;
- Ao Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão pela orientação, paciência, carinho, confiança e principalmente, pelos conhecimentos transmitidos;
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo suporte técnico-científico;
- Ao Laboratório de Microanálises, pelos trabalhos realizados em MEV e microsonda eletrônica. Agradeço a Ana Paula Correa e Gisele Marques pelo suporte fundamental durante as sessões em MEV e microsonda eletrônica, além de ótimas conversas, bons conselhos e justos puxões de orelha...;
- Ao Prof. Dr. Leonardo Evangelista Lagoeiro da UFPR, pelos ensinamentos sobre o imageamento por EBSD, bem como ter proporcionado que as amostras deste trabalho fossem analisadas por tal ferramenta;
- Ao LACTEC de Curitiba, Paraná, por ter realizado as análises em EBSD;
- Ao Laboratório de Difração de Raios-X (DRX) do IG-UFPA, em especial ao Geólogo Msc. Aldemir de Melo Sotero pela realização das análises;
- À Joelma Lobo, técnica do laboratório de laminação-UFPA, pelo sempre ágil e brilhante suporte dado as lâminas utilizadas nesta pesquisa;
- Aos amigos que a Geologia me proporcionou, em especial Ismayla Carneiro, Igor Fransua, Isabele Souza e Alan Queiroz;
- Aos amigos do peito, em especial Nelson Bria, Jonatha Brito, Alexandre Monteiro, Luciana Almeida, Brenda Costa e Maíza Borges;
- Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a elaboração deste trabalho.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”  
Simone de Beauvoir

## RESUMO

A Província Mineral do Tapajós (PMT), inserida no contexto da província geocronológica Tapajós-Parima ou Ventuari-Tapajós, é reconhecida como a maior província aurífera do Brasil. O Granito São Jorge Jovem (GSJJ), situado a leste da PMT em uma área fortemente fraturada e hidrotermalizada, é o hospedeiro da mineralização aurífera. O GSJJ exhibe filiação cálcio-alcalina rica em K, composto por rochas de composição monzograníticas e leucomonzograníticas, com anfibólio e biotita como principais minerais máficos. Datação Pb-Pb em zircão em leucomonzogranitos revelou uma idade de cristalização de  $1891 \pm 3$  Ma. Os polimorfos de  $TiO_2$  são fases acessórias comuns em diversos tipos de rochas. Na natureza ocorrem como três principais polimorfos: anatásio e brookita, como representantes de baixas temperaturas e pressões, e rutilo, em média a alta e ultra alta pressões e temperaturas. Desses, o rutilo é o polimorfo mais comum na crosta terrestre. As amostras e lâminas polidas utilizadas nesta pesquisa são oriundas de furos de sondagem realizados pela empresa Rio Tinto Desenvolvimento Minerais (RTZ) no GSJJ. Os polimorfos de  $TiO_2$  são representados por finos (10-100  $\mu m$ ) cristais anédricos inclusos ou no entorno de biotitas. As amostras da zona mineralizada apresentam alteração hidrotermal variada, com rochas no estágio de alteração propilítica e fílica. Os polimorfos de  $TiO_2$  formam agregados aciculares ou com textura esquelética, substituindo predominantemente a titanita. Análises pontuais de microsonda eletrônica realizadas em cristais individuais e em agregados de cristais de rutilo indicaram variações composicionais marcantes, principalmente em relação aos conteúdos de Nb, Al, Zr, V e W. Cristais de rutilo da zona estéril (ZE) mostraram maior enriquecimento em Nb (> 5.000 ppm) em relação aos cristais da zona mineralizada (ZM; predominantemente < 3.000 ppm). Cristais de rutilo da ZM mostram um *trend* de enriquecimento em Al e V. Cristais da ZE por vezes exibem enriquecimento em Fe, porém sempre acompanhados com teores consideráveis de Nb. Os cristais da ZM exibem *trend* de enriquecimento em W, V e Sb, e sempre empobrecidos em Nb. Análises em rutilo demonstram que sua composição química pode ser usada para discriminar rochas mineralizadas de outros tipos de rochas não mineralizadas. Os resultados indicam que a composição de elementos traço do rutilo, principalmente o V, em combinação com outros elementos, como Al, Zr, Sb, W oferecem as melhores indicações de mineralização em depósitos de ouro.

**Palavras-chave:** rutilo; depósito São Jorge; MEV; microsonda; Província Mineral do Tapajós.

## ABSTRACT

The Tapajós Mineral Province (PMT), inserted in the context of the Tapajós-Parima or Ventuari-Tapajós geochronological province, is recognized as the largest gold-bearing province in Brazil. The São Jorge Jovem Granite (GSJJ), located east of the PMT in a heavily fractured and hydrothermalized area, hosts gold mineralization. The GSJJ exhibits calcium-alkaline affiliation K-rich, composed of rocks of monzogranitic and leucomonzogranitic composition, with amphibole and biotite as the main mafic minerals. Pb-Pb dating of zircon in leucomonzogranites revealed a crystallization age of  $1891 \pm 3$  Ma.  $\text{TiO}_2$  polymorphs are common accessory phases in several types of rocks. In nature, it occurs in three main polymorphs: anatase and brookite, which are representatives of low temperatures and pressures, and rutile, at medium to high and ultra-high pressures and temperatures. Of these, rutile is the most common polymorph in the Earth's crust. The samples and polished blades used in this research come from drilling holes carried out by Rio Tinto Desenvolvimento Minerais (RTZ) in GSJJ.  $\text{TiO}_2$  polymorphs are represented by thin (10-100 $\mu\text{m}$ ) anhedral crystals in or surrounding biotite. Samples from the mineralized zone show varied hydrothermal alteration, with rocks in the propylitic and phyllic alteration stages.  $\text{TiO}_2$  polymorphs form acicular aggregates or aggregates with a skeletal texture, predominantly replacing titanite. Spot electron microprobe analyses conducted on individual crystals and aggregates of rutile crystals revealed significant compositional variations, particularly concerning the contents of Nb, Al, Zr, V, and W. Rutile crystals from the non-mineralized zone (NMZ) exhibited higher levels of Nb (> 5,000 ppm) compared to crystals from the mineralized zone (MZ; predominantly < 3,000 ppm). Rutile crystals from the MZ display a trend of Al enrichment and V. Crystals from the NMZ sometimes show enrichment in Fe but are always accompanied by levels considered to be Nb. ZM crystals exhibit a trend of enrichment in W, V, and Sb and are always depleted in Nb. Analysis of rutiles demonstrates that their chemical composition can be used to distinguish between mineralized rocks and other types of non-mineralized rocks. The results indicate that the trace element composition of rutile, mainly the V content, and other elements such as Al, Zr, Sb, W, offer the best indications of mineralization in gold deposits.

**Keywords:** rutile; São Jorge deposit; SEM; microprobe; Tapajós Mineral Province.