



# VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE **METALOGENIA**

17 A 20/8/2025 - SALVADOR - BA



## **Áreas Mineralizadas em REE, U e Sn e suas Assinaturas Anômalas em Produção de Calor Radiogênico (A0): Província Estanífera de Goiás - PEG**

**Apresentação: Adriana C. Carmelo**

Carvalhêdo, A. L. C.<sup>1</sup>; Carmelo, A. C.<sup>1</sup>; Lima, J. P. D. <sup>1</sup>; Botelho, N. F.<sup>1</sup>; Soares, J. E. P. <sup>1</sup>; Pires, A. C. B. <sup>1,2</sup>; Prado, R. O.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, [chatack@unb.br](mailto:chatack@unb.br)

<sup>2</sup> Agência para o Desenvolvimento e Inovação do Setor Mineral Brasileiro - ADIMB, Brasília, DF, Brasil





# Introdução



- Em ambientes geológicos dominados por **suítes intrusivas graníticas** ocorrem **elevadas concentrações de fontes de calor, devido a presença de elementos radioativos** como U, Th, REE e K que emitem energia por decaimento nuclear (Dickson & Scott, 1997; IAEA 2003; Carvalhêdo *et al.*, 2025).
- Esses elementos também podem estar inseridos no conceito de **fontes metalogenéticas**, pois suas **assinaturas radioativas são anômalas**, fontes de raios gama ( $\gamma$ ).



# Objetivos



- Estudar as assinaturas radioativas de granitos, caracterizando-os como **fontes de calor** devido à presença elementos **emissores radiação  $\gamma$**  (U, Th K).
- Método Gamaespectrométrico ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ )  $\rightarrow$  **Produção Calor Radiogênico (A0)**  $\rightarrow$  Analisar áreas fontes seguras - **suítes graníticas** (Dickson & Scott, 1997).
- Avaliar **granitos da Suíte Pedra Branca (Tipo A)** da Província Estanífera de Goiás (PEG) como possíveis *High Heat Production Granites (HHPG)* (Artemieva *et al.*, 2017).
- Avalia-los como possíveis alvos metalogenéticos - **zonas mineralizadas associadas às assinaturas radioativas anômalas** (Artemieva *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2023; Carvalhêdo *et al.*, 2025).



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Geothermics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/geothermics](http://www.elsevier.com/locate/geothermics)



LPFR

Carvalhêdo *et al.* (2025)

## Investigation of radiogenic heat production in granites of the Goiás Tin Province, Central Brazil

A.L. Carvalhêdo<sup>a,\*</sup>, A.C. Carmelo<sup>a</sup>, J.P.D. Lima<sup>a,b</sup>, N.F. Botelho<sup>a</sup>, A. Chornobay<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília, DF, 70910-900, Brazil

<sup>b</sup> Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, 21941-916, Brazil

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Radiogenic heat production  
A-type granite  
Gamma-ray spectrometry  
Density  
Tin  
Rare earth element-REE

### ABSTRACT

This study defines the radiogenic heat production of A-type granites in the Goiás Tin Province (GTP), Central Brazil, using airborne gamma-ray spectrometry. Pedra Branca Massif and Serra Dourada Granite are rich in tin, rare earth elements, and they exhibit anomalous radiogenic heat ( $5.5\text{--}15\ \mu\text{W}/\text{m}^3$ ). They are therefore classified as high heat production granites (HHPG). By integrating radiogenic heat data, RGB imaging, magnetometry, density model and geological information, we associated anomalous radiogenic heat with mineralized regions present in the granites found in the GTP. Our methodology was validated using geological information, density model and other granites worldwide. It proved to be effective for targeting HHP granites.

VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA | A metalogenia para o desenvolvimento do setor mineral do Brasil

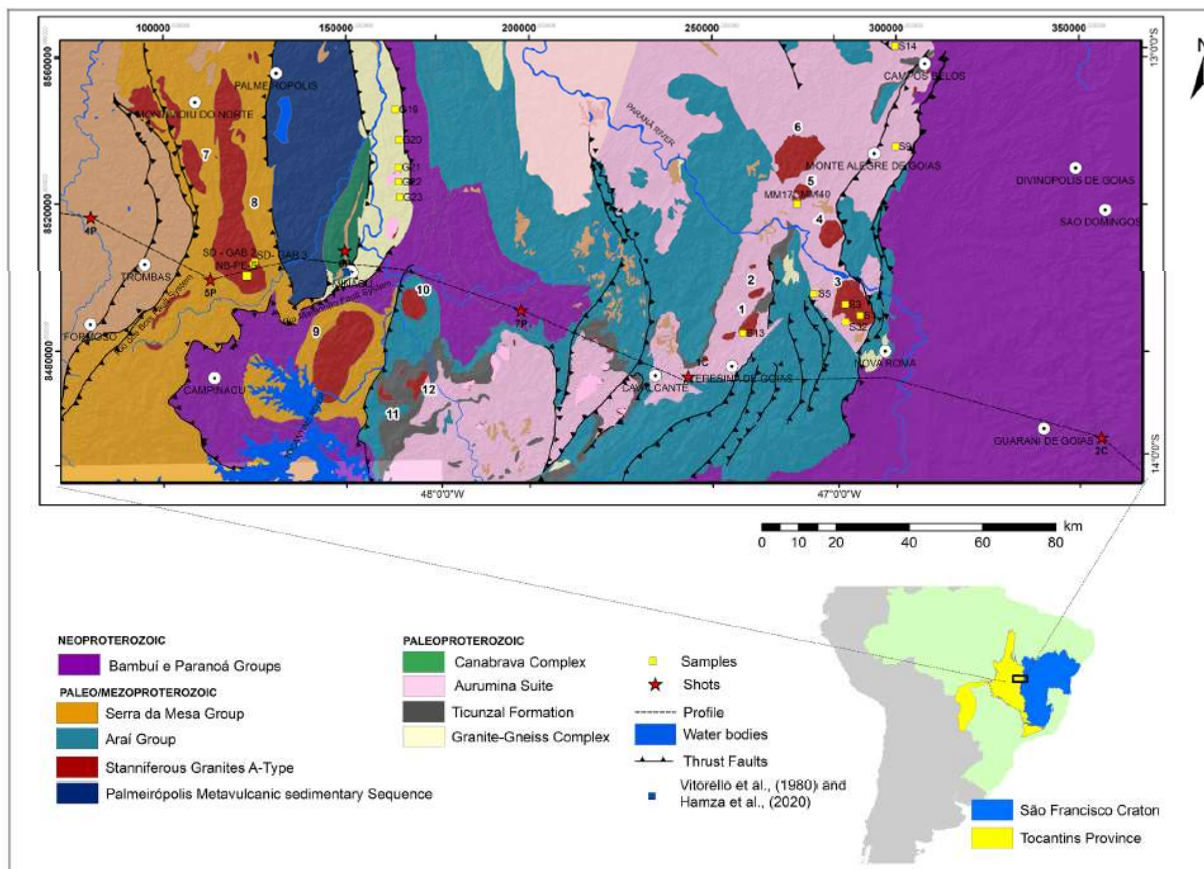
Salvador – BA | 17 a 20 de agosto de 2025

# Introdução



- Neste contexto, a utilização de produtos radiogênicos, como a Produção de Calor Radiogênico (A0) é relevante para identificar áreas fontes potenciais para elementos REE, U e Sn, que são importantes no âmbito da transição energética (Artemieva *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2023; Carvalhêdo *et al.*, 2025).
- A área da pesquisa é a Província Estanífera de Goiás - **PEG**, especificamente as **subprovíncias Paranã e Rio Tocantins**, que apresentam contexto geológico dominado por granitos, com idades paleo/ mesoproterozoicas (Dardenne e Botelho, 2014; Cuadros *et al.*, 2017).





Fonte: Carvalhêdo *et al.* (2025),  
modificada de Dardenne e Botelho (2014)

## Província Estanífera de Goiás – PEG

- SubProvíncia Paranã

Suíte Pedra Branca

- SubProvíncia Tocantins

Suíte Serra da Mesa

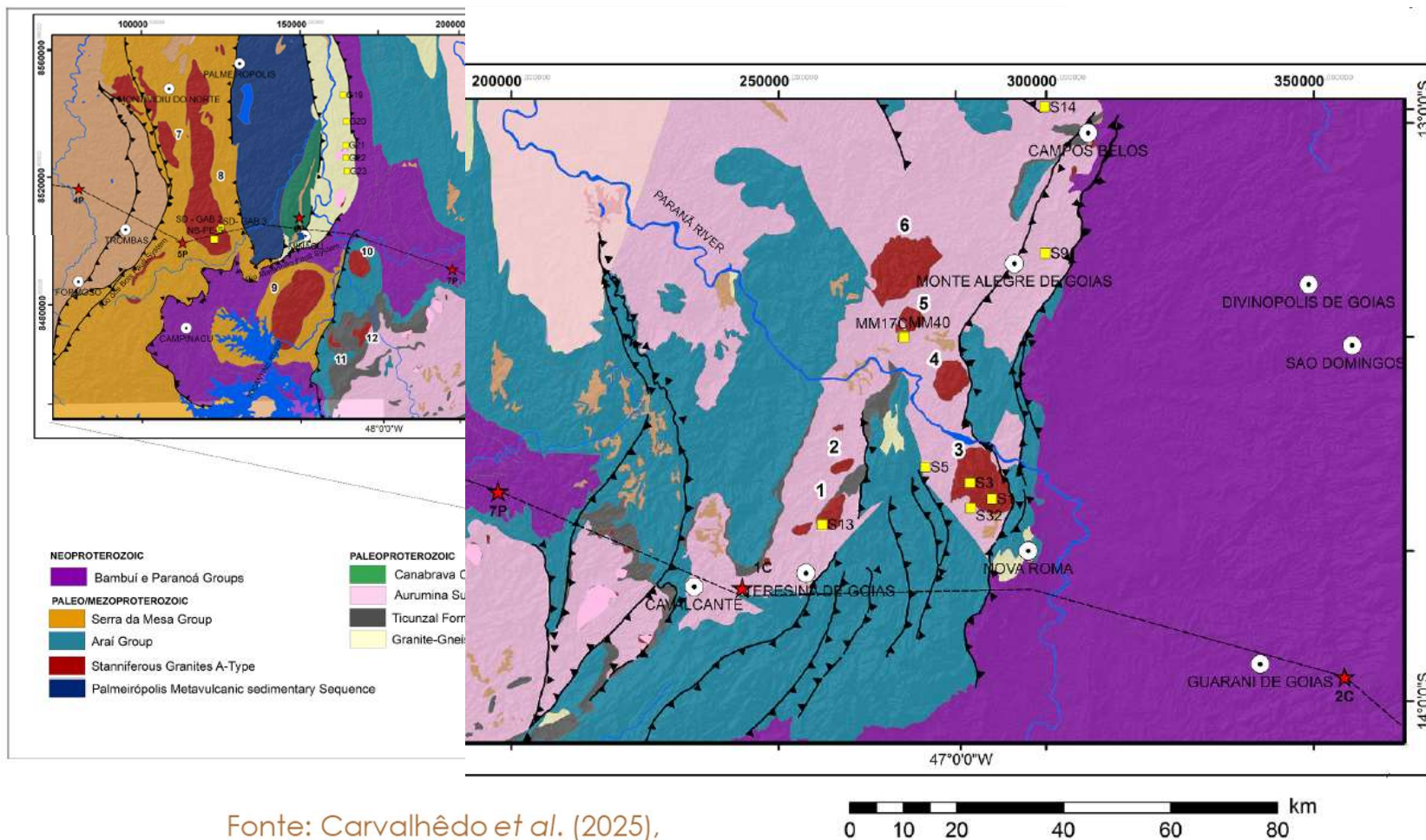
e  
Granitos pertencentes ao  
Grupo Araí





# Introdução

- Os maciços Pedra Branca e Serra Dourada são conhecidos por sua exploração de estanho (**Sn**) e elementos de terras raras (**REE**). Os depósitos de estanho na PEG estão associados principalmente aos granitos do **tipo A** (1,6 - 1,77 Ga) e aos granitos paleoproterozoicos do **tipo S/ híbridos** da Suíte Aurumina (2,05 - 2,15 Ga) (Dardenne & Botelho, 2014; Cuadros et al., 2017; Santana & Botelho, 2022).
- Os granitos do **tipo A da Suíte Pedra Branca** são ricos em flúor (**F**), **REE**, índio (**In**) e nióbio (**Nb**), apresentando anomalias radiogênicas devido às suas altas concentrações de **urânio** (25 ppm) e **tório** (100 ppm) (Botelho et al., 2016, Carvalhêdo et al., 2020; Carvalhêdo et al., 2025).



Fonte: Carvalhêdo *et al.* (2025),  
modificada de Dardenne e Botelho (2014)

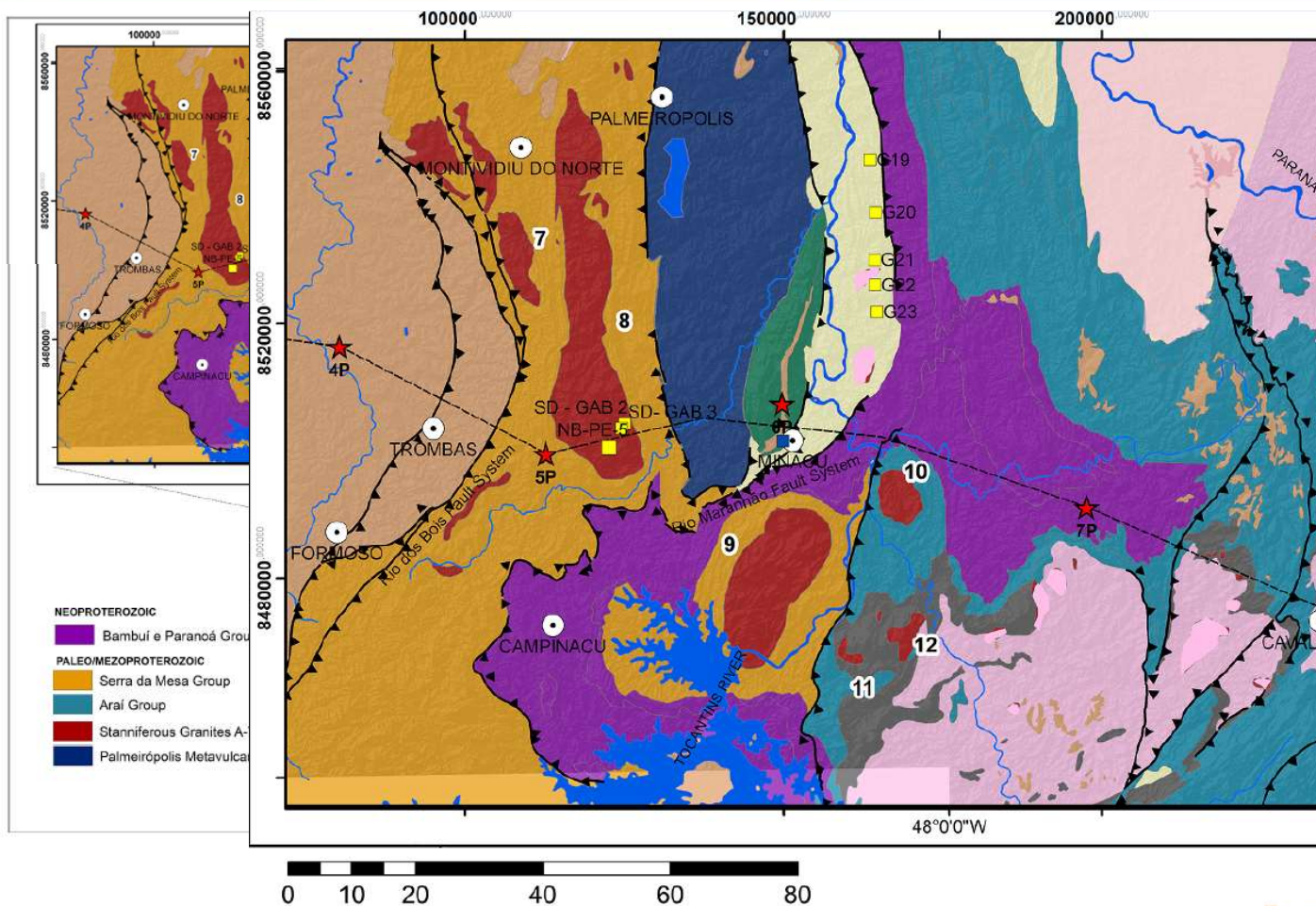


LPFR

SubProvincia  
Paranã

Suíte Pedra  
Branca

- 1 - Soledade
- 2 - Sucuri
- 3 - P. Branca
- 4 - Mocambo
- 5 - Mangabeira e Laranjinha
- 6 - S. Mendes



## SubProvincia Tocantins

### Suíte Serra da Mesa

- 7 – S. do Encosto
- 8 – S. Dourada
- 9 – S. Mesa

### Granitos pertencentes ao Grupo Arai

- 10 – S. Branca
- 11 - Florêncio
- 12 – Chapada  
de São Roque



Fonte: Carvalhêdo *et al.* (2025),  
modificada de Dardenne e Botelho (2014)



# Materiais e Métodos

- Materiais
  - **Levantamentos Geofísicos Aéreos**, disponibilizados pela CPRM/ SGB (LASA Engenharia e Prospecções S.A, 2006, 2007; AeroGeoPhysica Latino America , 2006):
    - Paleo-Neoproterozoico do Nordeste de Goiás;
    - Tocantins; e
    - Complemento do Tocantins.





# Materiais e Métodos

- Materiais
  - **Dados obtidos em campanhas de campo e compilados**(Tabela 1):
    - Freitas, 2000 (MM),
    - Carvalhêdo *et al.*, 2020, 2025 (G) e Chornobay, 2023 (S);
    - Santana e Botelho, 2022; e
    - Compilados de artigos científicos (Vitorelo *et al.*, 1980; Botelho e Moura, 1998; Hamza *et al.*, 2005; Alexandrino e Hamza 2008, Hamza *et al.*, 2020; entre outros).





**Tabela 1** - Dados obtidos em campanhas de campo (Freitas, 2000 (MM), Carvalhêdo *et al.*, 2025 (G); Chornobay, 2023 (S) e Santana e Botelho, 2022 (SD)).

| Longitude (X) | Latitude (Y) | Samples    |
|---------------|--------------|------------|
| 289,860       | 8,489,719    | S1         |
| 285,791       | 8,492,710    | S3         |
| 277,434       | 8,495,683    | S5         |
| 299,842       | 8,535,667    | S9         |
| 258,137       | 8,484,907    | S13        |
| 299,734       | 8,563,017    | S14        |
| 285,878       | 8,487,997    | S32        |
| 273,305       | 8,520,150    | MM40       |
| 273,434       | 8,519,956    | MM17C      |
| 8,545,936     | 814,110      | G19        |
| 8,537,738     | 814,873      | G20        |
| 8,530,293     | 814,475      | G21        |
| 8,526,246     | 814,473      | G22        |
| 8,522,068     | 814,678      | G23        |
| 774,656       | 8,505,492    | SD – GAB 2 |
| 774,213       | 8,504,775    | SD- GAB 3  |
| 772,135       | 8,501,800    | NB-PE-5    |



Carvalhêdo *et al.* (2025)



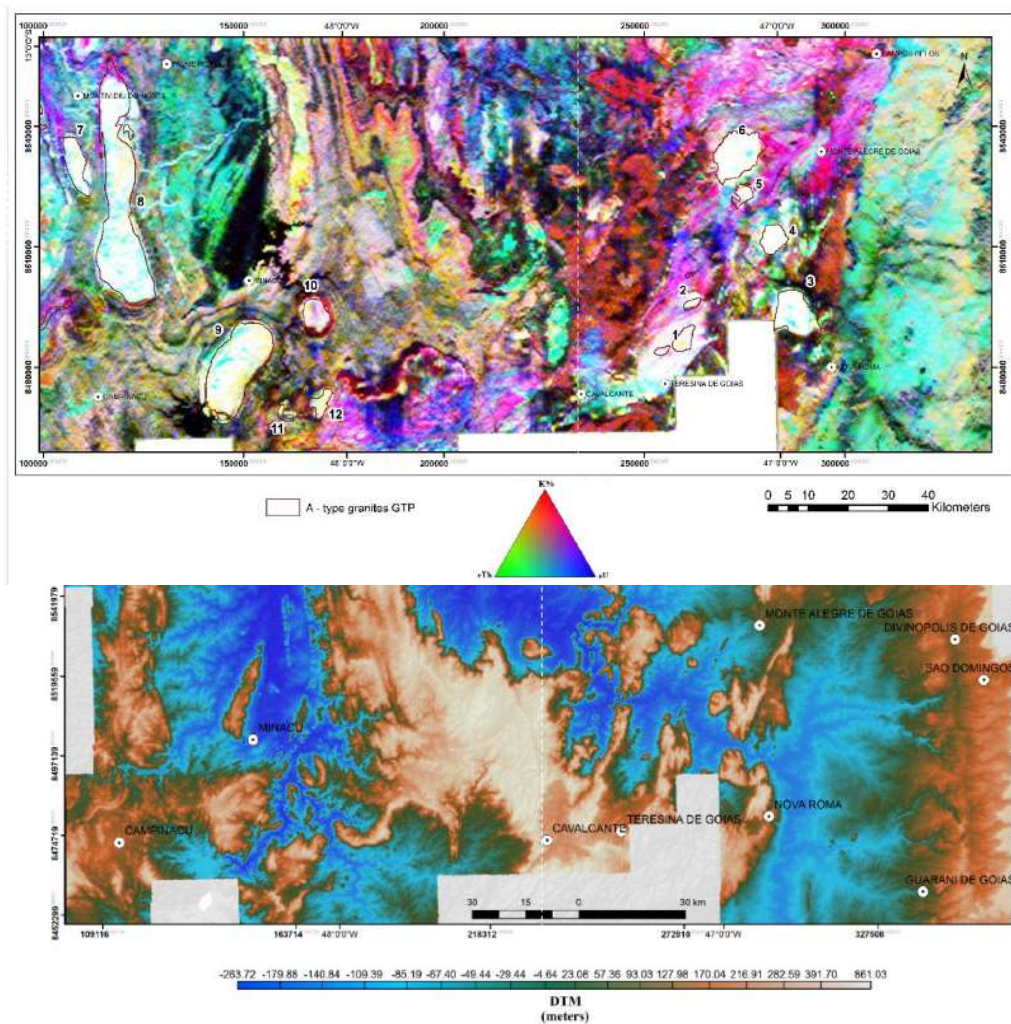
# Materiais e Métodos

- Métodos

## Método Gamaespectrométrico

- Mosaico dos bancos de dados radiométricos dos levantamentos Paleoneoproterozoico do Nordeste de Goiás, Tocantins e Complemento do Tocantins.





## Composição Ternária RGB/ K eTh eU e Modelo Digital de Terreno - MDT

Carvalhêdo *et al.* (2025)





# Materiais e Métodos

- Métodos

## Método Gamaespectrométrico -> Produção de Calor Radiogênico (A0)

- Os primeiros trabalhos apresentados para medir **A0** das rochas utilizaram concentrações dos radioisótopos obtidos por levantamentos gamaespectrométricos, a partir das concentrações dos elementos K ( $^{40}\text{K}$ ), U ( $^{238}\text{U}$ ), Th ( $^{232}\text{Th}$ ) (Birch, 1954; Jacobs *et al.*, 1959; Garland, 1971; Kappelmeyer e Haenel, 1974; Rybach, 1986).





# Materiais e Métodos

- Métodos

## Produção de Calor Radiogênico ( $A_0$ )

- Rybach (1986) apresenta a relação para o cálculo da produção do calor radiogênicos, em  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ :  **$A_0 = 10^{-5} \rho (3.48 K + 9.52 U + 2.56 Th)$**

Onde:  $\rho$  = densidade das rochas que produzem calor por decaimento radioativo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $U$  (ppm),  $Th$  (ppm) e  $K$  (%) são as concentrações radioelementos nas rochas.

- Neste trabalho foi adotado o valor de densidade ( $\rho$ ) de  **$2.7 \text{ g}/\text{cm}^3$**  para granitos, como proposto Artemieva *et al.* (2017).



# Produção de Calor Radiogênico (A0) - PEG



Carvalhêdo *et al.* (2025)

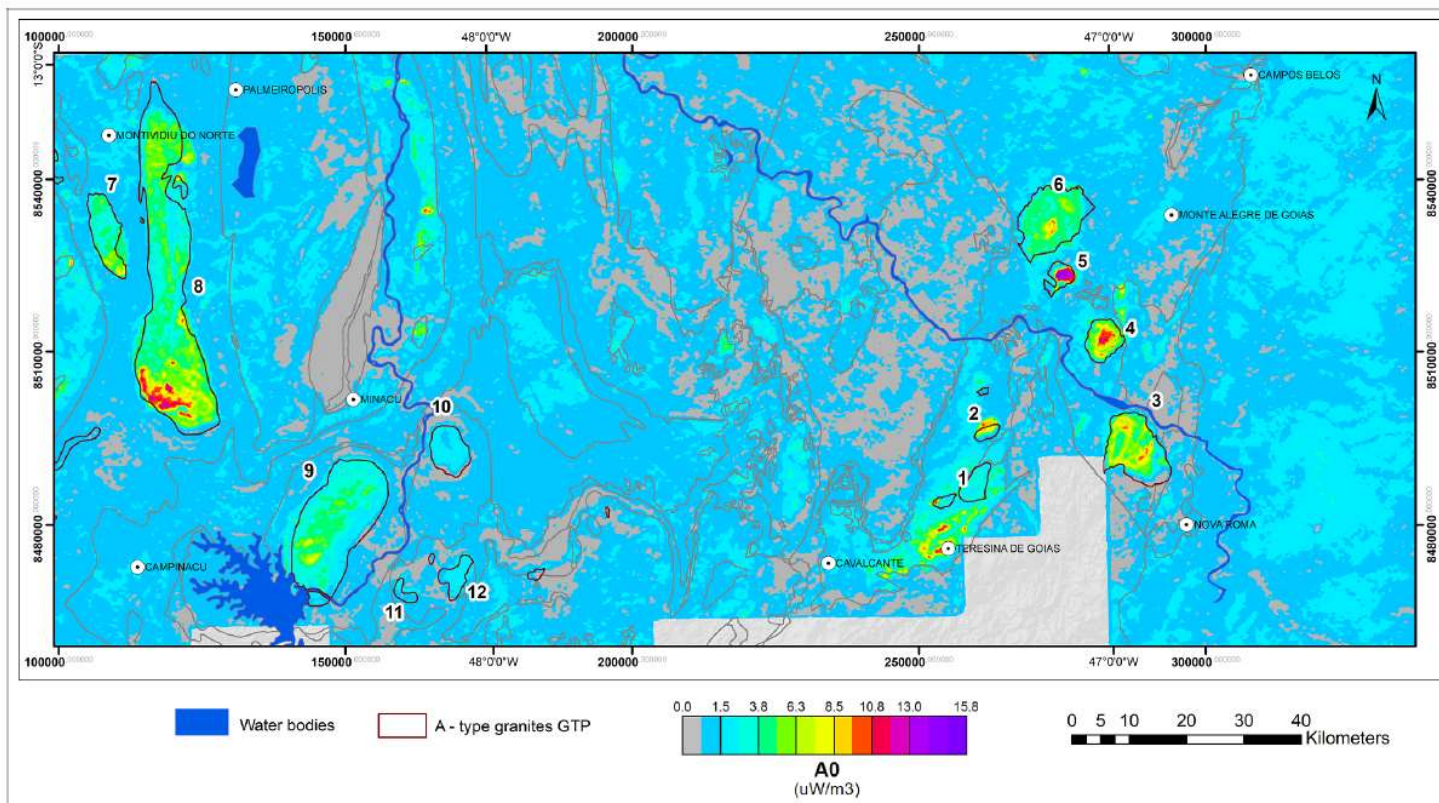


Fig. 6. Radiogenic heat production A0 ( $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ) in the Goiás Tin Province – GTP. To the east, granites from the Pedra Branca Suite: 1-Soledade, 2-Sucuri, 3-Pedra Branca, 4-Mocambo, 5-Mangabeira and Laranjinha, and 6-Serra do Mendes. To the west, granites from the Serra da Mesa Suite and Araí Group: 7 – Serra do Encosto, 8 – Serra Dourada, 9 -Serra da Mesa, 10 – Serra Branca, 11 – Florêncio, and 12 – São Roque.



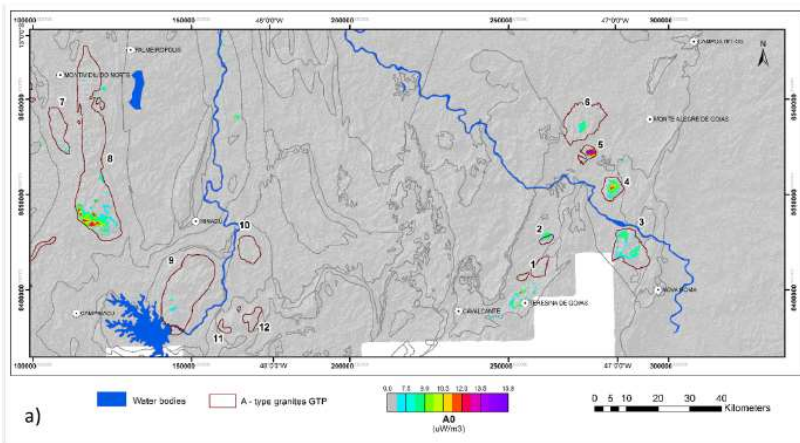
# Resultados

## Produção de Calor Radiogênico (A0)

- Artemieva *et al.* (2017) apresentam que “granitos” com **A0 = 2.45  $\mu\text{W}/\text{m}^3$** . Entretanto, alguns granitos produzem **valores altos de A0**, sendo denominados de **High Heat Production Granites – HHPG**, com média de **A0 > 3.7  $\mu\text{W}/\text{m}^3$** .
- Outros granitos produzem **A0 > 5.5  $\mu\text{W}/\text{m}^3$** , devido à presença de **concentrações anômalas dos elementos Th e U** (Artemieva *et al.*, 2017). Esses estão associados aos **depósitos minerais hidrotermais (W, Sn, Cu, Mo, Pb e topázio)**.

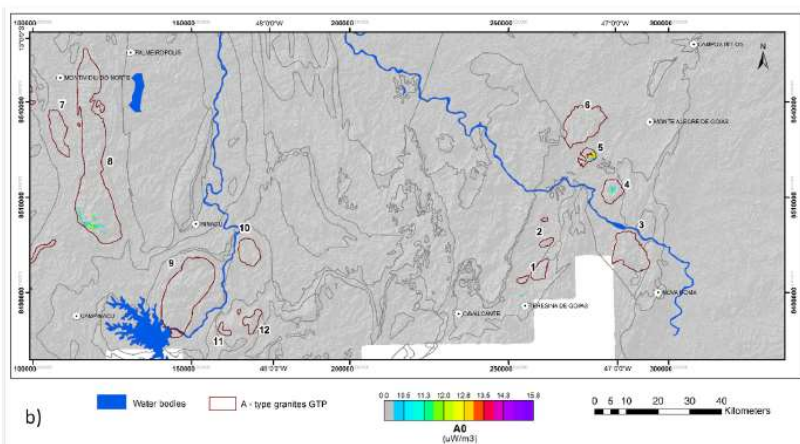


# Produção de Calor Radiogênico PEG – HHPG



$A_0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$   
Tipo A

Carvalhêdo *et al.* (2025)



$A_0 \geq 10 \mu\text{W}/\text{m}^3$

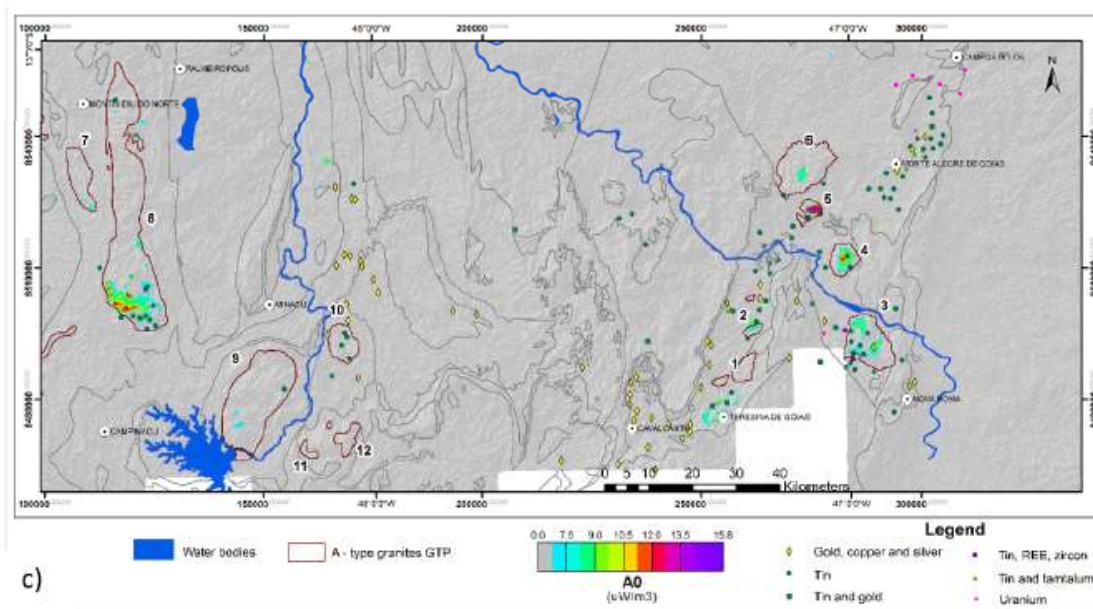
Fig. 7. Radiogenic heat production  $A_0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$  (a),  $A_0 \geq 10 \mu\text{W}/\text{m}^3$  (b) and Radiogenic heat production  $A_0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$  in the GTP (c). The points indicate occurrences of Tin, Rare Earth Elements, Gold, Uranium, Tantalum, and others. Sources: Geobank SGB (geoportal.sgb.gov.br) mineral occurrences UTM coordinates 23 S scale 1: 250.000 (SBG, 2024). To the east, granites from the Pedra Branca Suite: 1-Soledade, 2-Sucuri, 3-Pedra Branca, 4-Mocambo, 5-Mangabeira and Laranjinha, and 6-Serra do Mendes. To the west, granites from the Serra da Mesa Suite and Araí Group: 7 – Serra do Encosto, 8 – Serra Dourada, 9 -Serra da Mesa, 10 – Serra Branca, 11 – Florêncio, and 12 – São Roque.



# Produção de Calor Radiogênico PEG – HHPG (Tipo A)



Carvalhêdo *et al.* (2025)

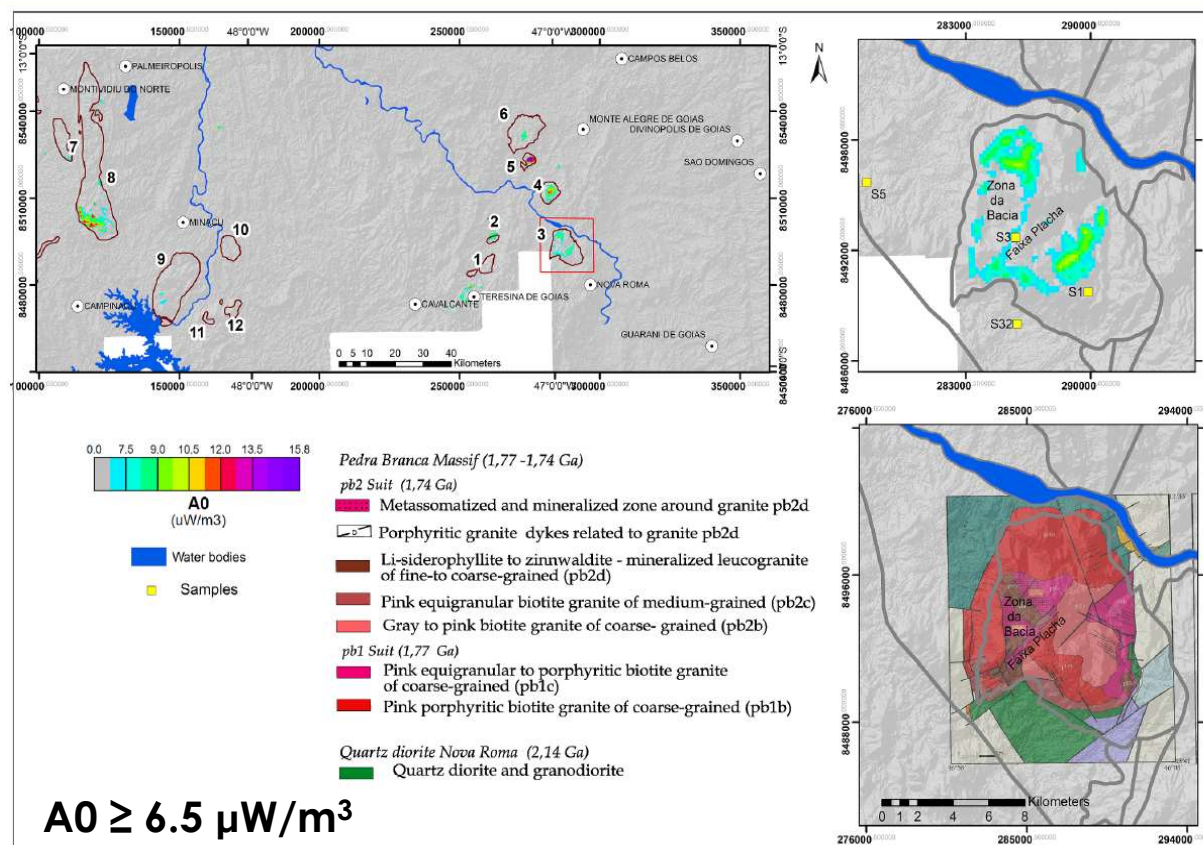


$A0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$

Fig. 7. Radiogenic heat production  $A0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$  (a),  $A0 \geq 10 \mu\text{W}/\text{m}^3$  (b) and Radiogenic heat production  $A0 \geq 6.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$  in the GTP (c). The points indicate occurrences of Tin, Rare Earth Elements, Gold, Uranium, Tantalum, and others. Sources: Geobank SGB ([geoportal.sgb.gov.br](http://geoportal.sgb.gov.br)) mineral occurrences UTM coordinates 23 S scale 1: 250.000 (SBG, 2024). To the east, granites from the Pedra Branca Suite: 1-Soledade, 2-Sucuri, 3-Pedra Branca, 4-Mocambo, 5-Mangabeira and Laranjinha, and 6-Serra do Mendes. To the west, granites from the Serra da Mesa Suite and Araí Group: 7 – Serra do Encosto, 8 – Serra Dourada, 9 -Serra da Mesa, 10 – Serra Branca, 11 – Florêncio, and 12 – São Roque.



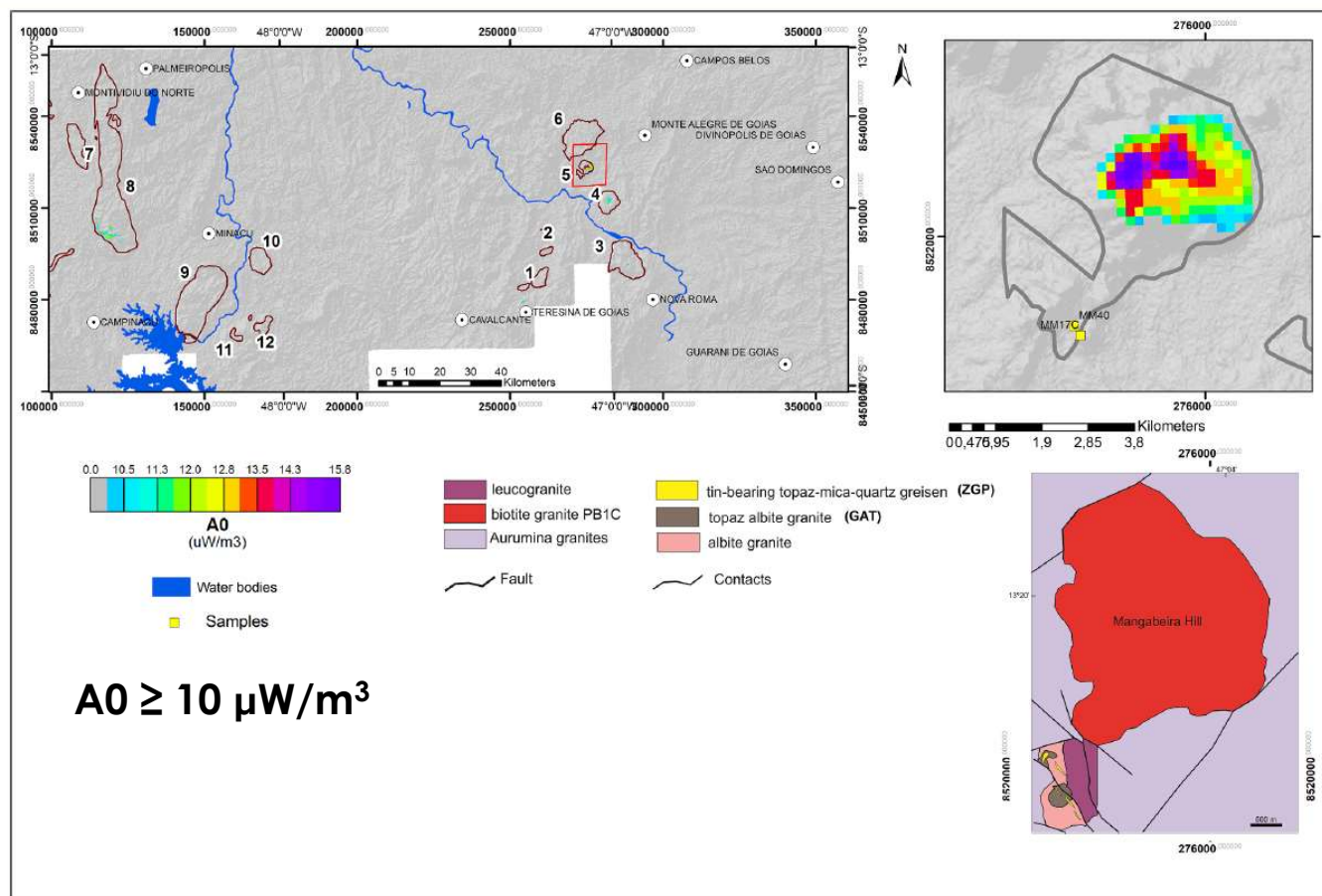
# Produção de Calor Radiogênico (A0): Maciço Pedra Branca



Fonte: Dardenne e Botelho (2014); Carvalhêdo et al. (2025).



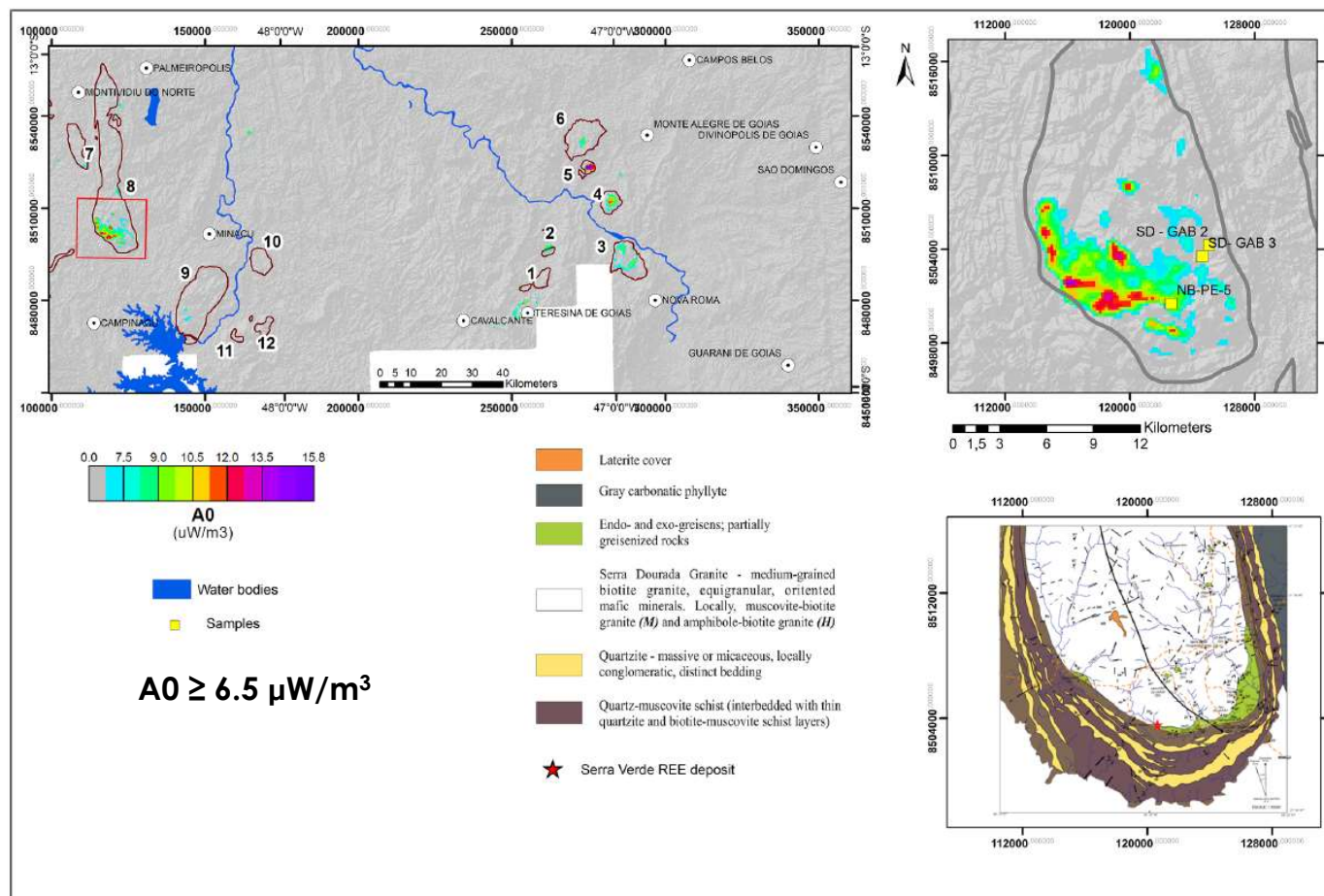
# Produção de Calor Radiogênico (A0): Maciço Mangabeira e Laranjinha



Fontes:  
Freitas (2000);  
Dardenne e  
Botelho (2014);  
Carvalhêdo *et al.*  
(2025).



## Produção de Calor Radiogênico (A0): Granito Serra Dourada



Fontes:  
Santana (2022);  
Carvalhêdo *et al.* (2025)



## Produção de Calor Radiogênico (A0): HHP Granites

Tabela 3 – Granitos com alta produção de calor (HHPG) no Brasil e no mundo, com suas idades e valores anômalos calor radiogênico (A0).

| Localization                      | Age  | Radiogenic Heat ( $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ) | Reference                                     |
|-----------------------------------|--|--|---|
| GTP A-type granites / Brazil      | Paleo/<br>Mesoproterozoic<br>1.770 to 1.660 Ma | 5.5–15 $\pm$ 1                               | This Research                                 |
| Itú A-type Granite / Brazil       | Neoproterozoic<br>(590–560 Ma)                 | >5   | Pascholati et al. (1990) Araújo et al. (2020) |
| Papanduva A-type Granite / Brazil | Neoproterozoic<br>580–583 Ma                   | >5.7   | Vilalva & Vlach (2014)                        |
| GRANITE2017 database              | Many A-type granites are Mesoproterozoic       | 5.08 $\pm$ 2.68                              | Artemieva et al. (2017)                       |



Carvalhêdo *et al.* (2025)



## Produção de Calor Radiogênico (A0): HHP Granites



Tabela 2 – As principais zonas mineralizadas da PEG, com suas mineralizações associadas, litologias e assinatura de calor radiogênico (A0).

| Parental Granite and mineralized zone | Radiogenic Heat A0 ( $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ) | Type Mineralisation Ore         | Lithology            | Reference                                   |
|---------------------------------------|---|---------------------------------|----------------------|---|
| Maciço Pedra Branca<br>Faixa Placha   | 7.5*  | Greisenization<br>Sn/ HREEs + Y | Sienogranite         | Costa et al. (2020)<br>Santos et al. (2023) |
| Serra Dourada<br>Serra Verde          | 13.86*  | Albitization<br>Sn/ REE         | Albitite             | Santana and Botelho (2022)                  |
| Maciço Mangabeira<br>Laranjinha       | 7.33*   | Albitization<br>Sn, In          | Topaz-albite granite | Moura et al. (2014)                         |

Carvalhêdo *et al.* (2025)

Note: \* approximate radiogenic heat in mineralized zones, obtained in this research.



## Conclusões

- Nesta pesquisa os HHPG (*Suíte Pedra Branca*, tipo A) foram separados em **duas classes A0, segundo o potencial mineral**:
  - i)  $6,5 \mu\text{W}/\text{m}^3 < \text{A0} < 10 \mu\text{W}/\text{m}^3$ ; e ii)  $\text{A0} \geq 10 \mu\text{W}/\text{m}^3$ .
- Os resultados apontam a **importância do A0 como ferramenta de análise prospectiva em províncias minerais**, principalmente, em áreas potenciais para **ETR, U e Sn**.
- Artemieva *et al.* (2017)  $\text{A0} \geq 5.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$  (U, Th) -> **granitos** (HHPG) estão associados aos depósitos minerais hidrotermais (W, Sn, Cu, Mo, Pb e topázio).
- Liu *et al.* (2023)  $\text{A0} > 5 \mu\text{W}/\text{m}^3$ , **granitos** associados **depósitos de W e Sn**, em **classe mundial**, devido as suas elevadas concentrações de U, Th e K.





# Referências Bibliográficas

- AeroGeoPhysica Latino America – AGP-LA. 2006. Projeto Aerogeofísico Tocantins. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. RJ. Convênio de Cooperação Técnica entre a SGM/MME/ CPRM, Rel. Final, Texto e Anexos (mapas).
- Alexandrino, C.H., Hamza, V.M., 2008. Estimates of heat flow and heat production and a thermal model of the São Francisco Craton. *Int. J. Earth Sci.*
- Araújo, F.P., Martins, M., Pereira, G.S., Janasi, V.A., 2020. Inhandjara topaz leucogranite: a late rare metal-mineralized stock within the A-type Itu batholith, SE Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 101, 102623
- Artemieva, I.M., Mooney, W.D., 2001. Thermal thickness and evolution of Precambrian lithosphere: a global study. *J. Geophys. Res.: Solid Earth* 106 (B8), 16387–16414.
- Artemieva, I.M., Thybo, H., Jakobsen, K., Sørensen, N.K., Nielsen, L.S., 2017. Heat production in granitic rocks: global analysis based on a new data compilation GRANITE2017. *Earth Sci. Rev.* 172, 1–26.
- Birch, F., 1954. Heat from radioactivity. In: Faul, H. (Ed.), *Nuclear Geology*. John Wiley, New York, pp. 148–175.
- Botelho, N.F., 1992. Les ensembles granitiques subalcalins a peralumineux mineralises em Sn et In de la Sous-Province Paranã, etat de Goiás, Bresil. PhD. Thesis. Université Pierre et Marie Curie, 427p. (Paris VI).
- Botelho, N.F., Moura, M.A., 1998. Granite-ore deposit relationships in Central Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 11 (5), 427–438.
- Botelho, N.F., Santana, I.V., Vieira, C.C., Costa, N.O., Zapata, A.M., 2016. Potencial econômico para ETR como subproduto do estanho e/ou para depósitos de ETR, do tipo adsorção iônica, em granitos do tipo-A da Província Estanífera de Goiás. In: SBG, Cong. Bras. Geologia. Porto Alegre, Anais, 48.
- Carvalhêdo, A.L.C., Carmelo, A.C., Botelho, N.F., 2020. Geophysical-geological model of the Pedra Branca massif in the Goiás Tin Province, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.* 101, 102593.
- Carvalhêdo, A.L.C., Carmelo, A.C., Lima, J.P.D., Botelho, N.F., Chornobay, A. 2025. Investigation of radiogenic heat production in granites of the Goiás Tin Province, Central Brazil *Geothermics* 125 (2025) 103183.
- Chornobay, A., 2023. Modelo Geofísico-Geológico do Bloco Crustal Cavalcante-Natividade e Região Limítrofe: Porção Nordeste Da Província Tocantins e Margem Ocidental do Cráton do São Francisco. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- Costa, N.O., Botelho, N.F., Garnier, J., 2020. Concentration of rare earth elements in the Faixa Placha tin deposit, Pedra Branca A-Type granitic massif, central Brazil, and its potential for ion-adsorption-type REE- Y mineralization. *Ore Geol. Rev.* 123, 103606.





# Referências Bibliográficas

Cuadros, F.A., Botelho, N.F., Fuck, R.A., Dantas, E.L., 2017a. The Peraluminous Aurumina Granite Suite in Central Brazil: an Example of Mantle-Continental Crust Interaction in a Paleoproterozoic Cordilleran Hinterland Setting. *Precambrian Research* 299 (2017) 75–100.

Dardenne, M.A., Botelho, N.F., 2014. Metanogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. *Metanogênese da Zona Externa da Faixa Brasília* p.431.

Dickson, B.L., Scott, K.M., 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *J. Aust. Geol. Geophys.* 17 (2), 187–200.

Freitas, M.E., 2000. A Evolução dos Greisens e Mineralização Estanífera no Morro da Laranjinha, Maciço Granítico Mangabeira, GO. Ph.D. Thesis. Universidade de Brasília.

Garland, G.D., 1971. *Introduction to geophysics: mantle, Core and Crust.* W. B. Sanders.

Hamza, V.M., Vieira, F., Gomes, J., Guimaraes, S., Alexandrino, C., Gomes, A., 2020. Update of Brazilian heat flow data, within the framework of a multiprong referencing system. *Int. J. Terrestrial Heat Flow Appl. Geotherm.* 45–72.

Hamza, V.M., Gomes, A.J.L., Vieira, F.P., 2005. Geothermal studies in Bebedouro - SP, Unpublished report, National Observatory, Rio de Janeiro, pp 12.

IAEA (International Atomic Energy Agency), 2003. *Guidelines For Radioelement Mapping Using Gamma-Ray Spectrometry Data.* Viena.

Jacobs, J.A., Russell, R.D., Tuzo Wilson, J., 1959. *Physics and Geology.* McGraw Hill Book Company, Inc.

Kappelmeyer, O., Haenel, R. 1974. *Geothermics with Special Reference to Application.* Gebruder Borntraeger, Berlin, 238 p.

Li, X., 2006. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics* 71 (2), L13–L16.

LASA Engenharia e Prospecções, S.A., 2006. Projeto Levantamento Aerogeofísico do Estado de Goiás –3a Etapa – Paleo-Neoproterozóico do Nordeste de Goiás. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. RJ. Convênio de Cooperação Técnica entre a SGM/MME/ CPRM e SIC/SGM/FUNMINERAL Estado de Goiás, Rel. Final, v. 22, Texto e Anexos (mapas).





# Referências Bibliográficas

LASA Engenharia e Prospecções, S.A., 2007. Projeto Levantamento Aerogeofísico Complemento do Tocantins. Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. RJ. Convênio de Cooperação Técnica entre a SGM/MME/ CPRM. Rel. Final, Texto e Anexos (mapas).

Moura, M.A., Botelho, N.F., Olivo, G.R., Kyser, K., Pontes, R.M., 2014. Genesis of the Proterozoic Mangabeira tin–indium mineralization, Central Brazil: evidence from geology, petrology, fluid inclusion and stable isotope data. *Ore Geol. Rev.* 60, 36–49.

Pascholati, E.M., Amaral, G., Vlach, S.R.F., Fujimori, K., 1990. Suíte Intrusiva de Itu: aspectos geológicos e geofísicos. *Anais* 4, 1936–1941.

Rybach, L., 1986. Amount and significance of radioactive heat sources in sediments. *Thermal Modeling in Sedimentary Basins*. Editor: J. Burrus, TECHNIP. Paris, 311–322. Santana & Botelho, 2022.

Santana, I.V., 2022. Caracterização Dos Minerais De Terras Raras Nos Granitos Serra do Encosto, Serra Dourada e Seus Produtos De alteração, Goiás/Tocantins, Brasil: Potencial Para a Formação de Mineralizações Do Tipo Adsorção iônica. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília.

Santana, I.V., Botelho, N.F., 2022. REE residence, behavior and recovery from a weathering profile related to the Serra Dourada Granite, Goiás/Tocantins States, Brazil. *Ore Geol. Rev.* 143, 104751.

Santos, I.K.M., Souza, V.S., Botelho, N.F., Hoyer, I.S., Bonfim, L.A.R., 2023. Mineral chemistry and oxygen isotope studies on Sn ( $\pm$ W) mineralization from Pedra Branca Granite Massif, Central Brazil. *Braz. J. Geol.* 53 (1), e20220041.

Vilà, M., Fernández, M., Jiménez-Munt, I., 2010. Radiogenic heat production variability of some common lithological groups and its significance to lithospheric thermal modeling. *Tectonophysics* 490, 152–164.

Vilalva, F.C.J., Vlach, S.R.F., 2014. Geology, petrography and geochemistry of the A-type granites from the Morro Redondo Complex (PR-SC), southern Brazil, Graciosa Province. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 86 (1).

Vitarello, I., Hamza, V.M., Pollack, H.N., 1980. Terrestrial heat flow in the Brazilian highlands. *J. Geophys. Res.* 85 (b7), 3778–3788.

Vlach, S.R.F., 1998. Teores De U, Th e K dos Granitoides De Morungaba, SP, e Implicações para a Produção de Calor Radiogênico e para a Radiação Natural. *Anais*, 395.





**Obrigada!**

- **Contato:**  
[chatack@unb.br](mailto:chatack@unb.br)  
[lpfr.igd@unb.br](mailto:lpfr.igd@unb.br)
- **Site:**  
[lpfr.igd.unb.br](http://lpfr.igd.unb.br)