



VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE  
**METALOGENIA**

17 A 20/8/2025 - SALVADOR - BA



**SERVIÇO  
GEOLÓGICO  
DO BRASIL**

# Depósitos de ETRs associados a regolitos no Brasil: um novo pólo produtor de referência mundial?

Lucy Takehara

18 de Agosto de 2025



# Sumário

Introdução

Contexto Geológico

Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos

Perfil Regolítico

Exemplos

Situação atual do país

Considerações finais





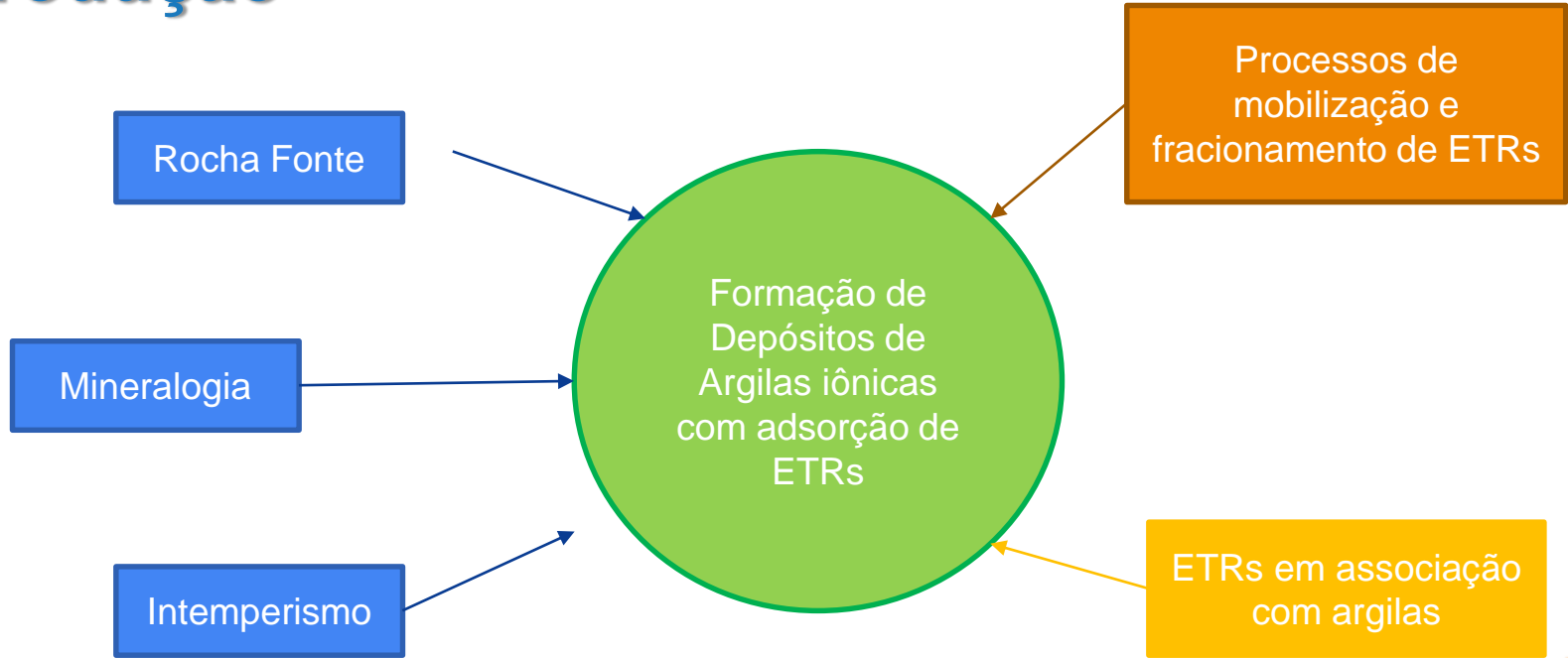
# Introdução

- Depósitos de Elementos Terras Raras (ETR) associados a regolitos, também conhecidos como depósito de ETR adsorvidos em argilas.
  - São depósitos supergênicos que contem argilas com ETR economicamente explorável .
  - Argilas formadas a partir do intemperismo das rochas enriquecidas em ETR
  - Contém mais de 50% de ETR trocáveis por íons em relação ao seu conteúdo total na rocha.





# Introdução





# Introdução

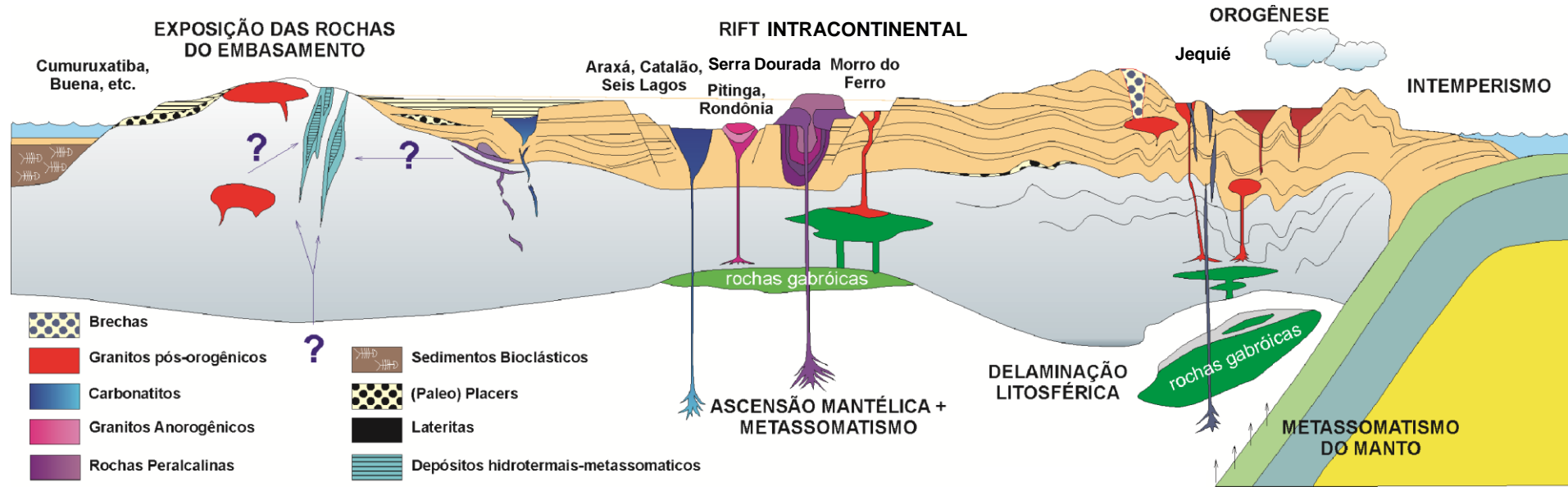
- **Características dos Minérios:**
  - Os teores dos minérios variam de **140 a 6.500 ppm de ETR+Y**, tipicamente ~800 ppm.
  - Alguns depósitos são **notavelmente enriquecidos em ETRP**.
  - Geralmente contêm **quantidades mais baixas de elementos radioativos (Tório e Urânio)** em comparação com outros minérios de ETR residuais.
  - Não exigem britagem, moagem ou processamento mineral e os ETR são **facilmente extraídos por troca iônica** usando uma solução eletrolítica diluída, como sulfato de amônio, à temperatura ambiente. Isso permite a mineração de minérios de baixo teor.





# Contexto Geológico

## Contexto Tectônico dos Principais Tipos de Depósitos de Terras Raras





# Contexto Geológico

## Mineralogia

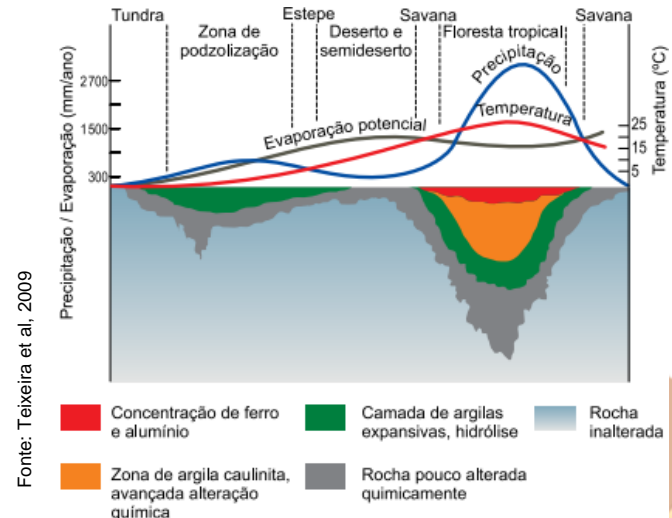
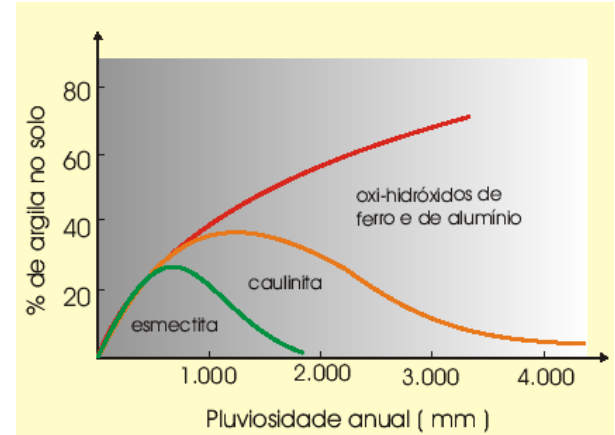
Número de coordenação e  
abundância de TRL (o) e TRP (•)  
nos sítios estruturais para as  
classes de minerais de TR.

Coordination number Mineral class	11	10	9	8	7	6
		← O:LREE			← ●:HREE →	
Carbonates	○	○	○ ●	○		
Silicates		○	○	○ ●	●	●
Phosphates			○ ●	○ ●		
Titanates				○ ●		●
Fluorides			○			

P.S.: O tamanho dos círculos mostram a abundância relativa de TR para cada classe mineral.



# Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos





## Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos

- **Índice Químico de Alteração (Chemical Index of Alteration - CIA)** Nesbitt & Young (1982)

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] \times 100 \text{ (molar)}$$

O CIA é calculado utilizando proporções moleculares de CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%), onde CaO\* representa a quantidade de CaO hospedada apenas em silicatos.

- **Índice de Lateritização (IOL)** proposto por Babechuk et al. 2014, quantifica os estágios avançados de intemperismo (dominado pelo processo de dissilicação), é calculado pela equação (médias de % em peso):

$$\text{IOL} = 100 \times [(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}))]$$

- Alteração progressiva e in situ da rocha, gerando perfis dominados por caulinita, goethita, hematita, gibbsita e quartzo, com perda (lixiviação) excessiva de sílica (desilicação) e álcalis

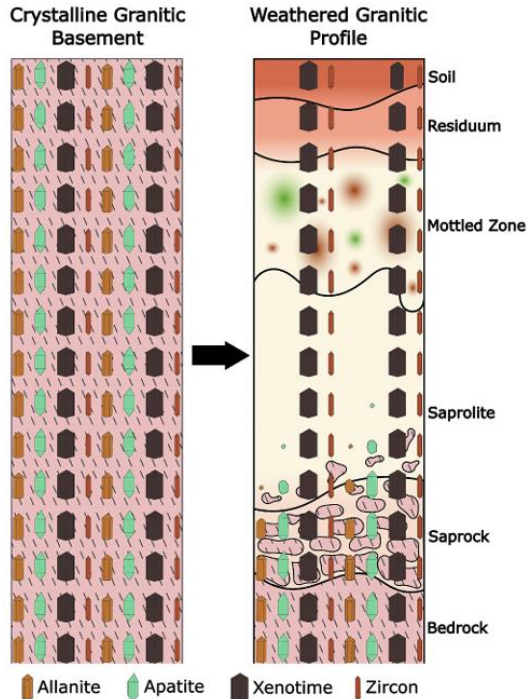




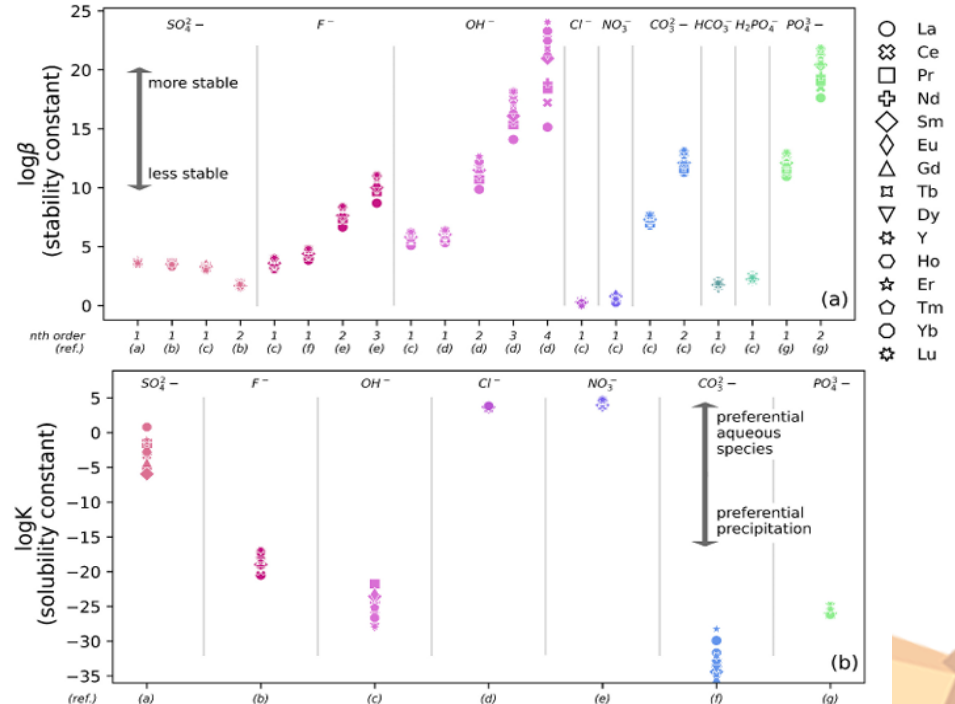


# Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos

Exemplo de susceptibilidade ao intemperismo de alguns minerais portadores de ETR acessórios



Constantes de estabilidade (a) e solubilidade (b) de complexos de ETR

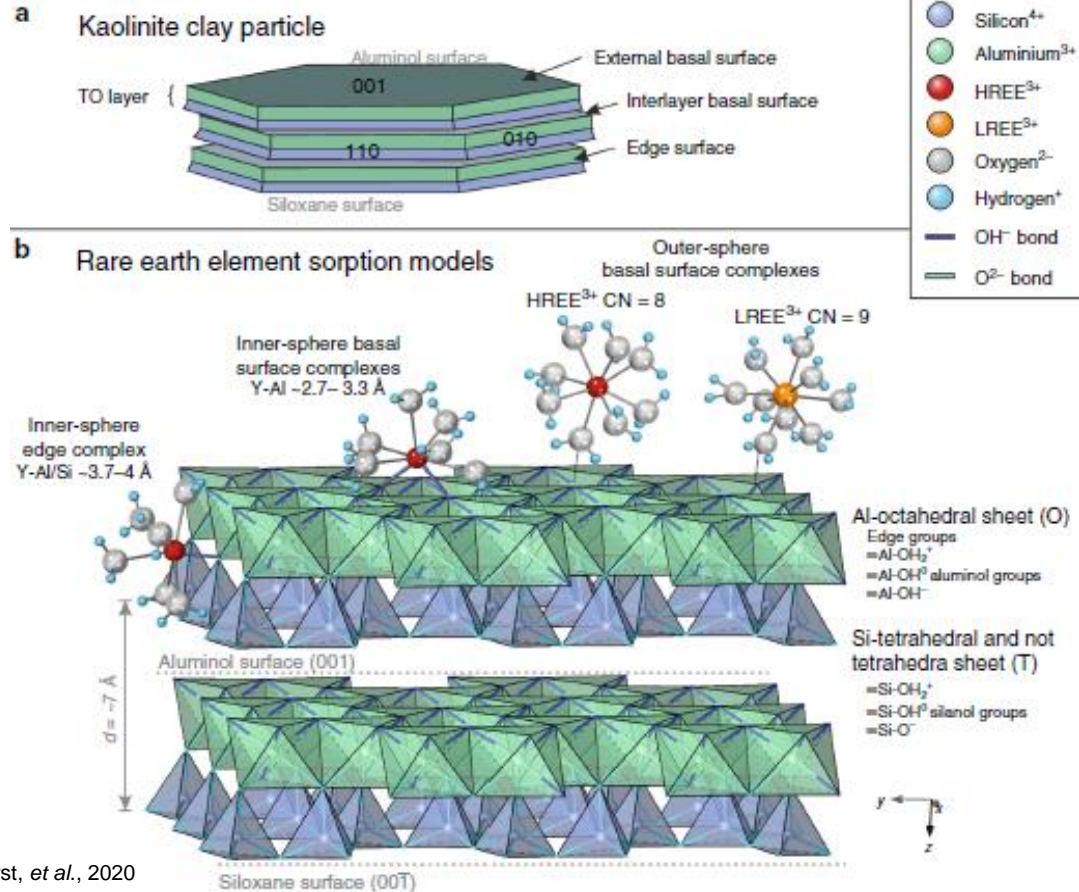


Os complexos de ETR- fluoreto, hidróxido, carbonato e fosfato **fracionam ETR**

# Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos

## Mecanismos de Adsorção principais são:

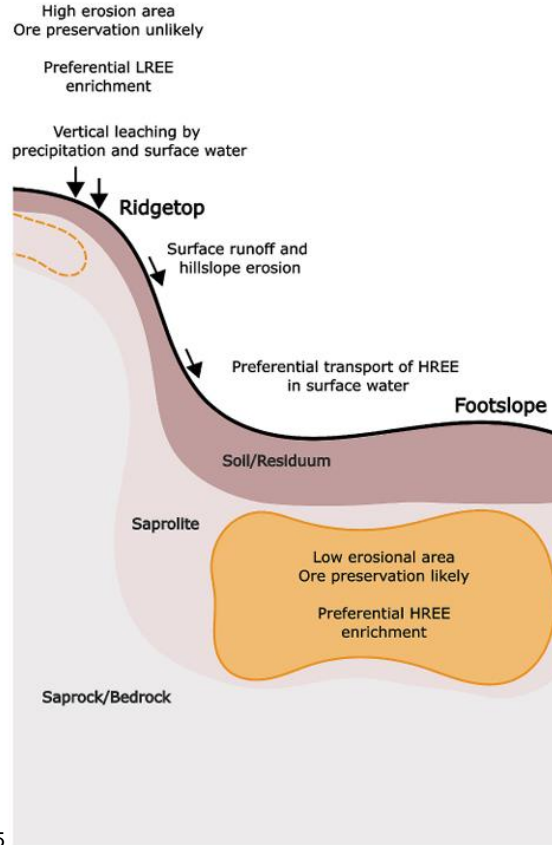
- **Troca iônica** não causa fracionamento evidente de ETR.
- **Complexação de superfície** induz um **enriquecimento de ETRP sobre ETRL**. A complexação de ETRP em minerais de argila é maior do que a de ETRL.



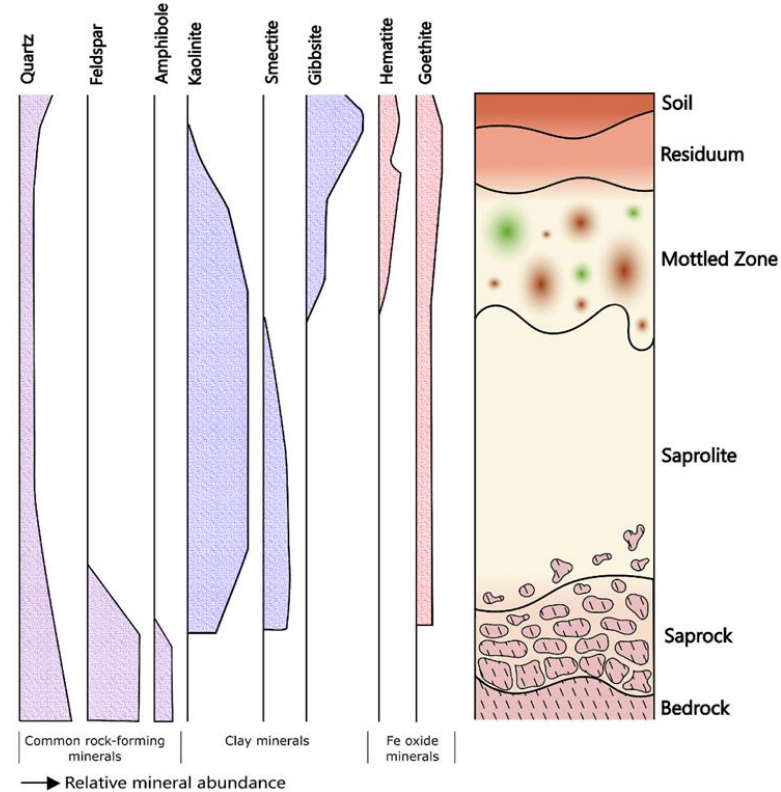


# Fatores que Controlam a Formação de Depósitos de ETR em regolitos

Diagrama esquemático exibindo os efeitos topográficos no desenvolvimento dos perfis de intemperismo e, portanto, na preservação do Depósitos de ETR em regolitos

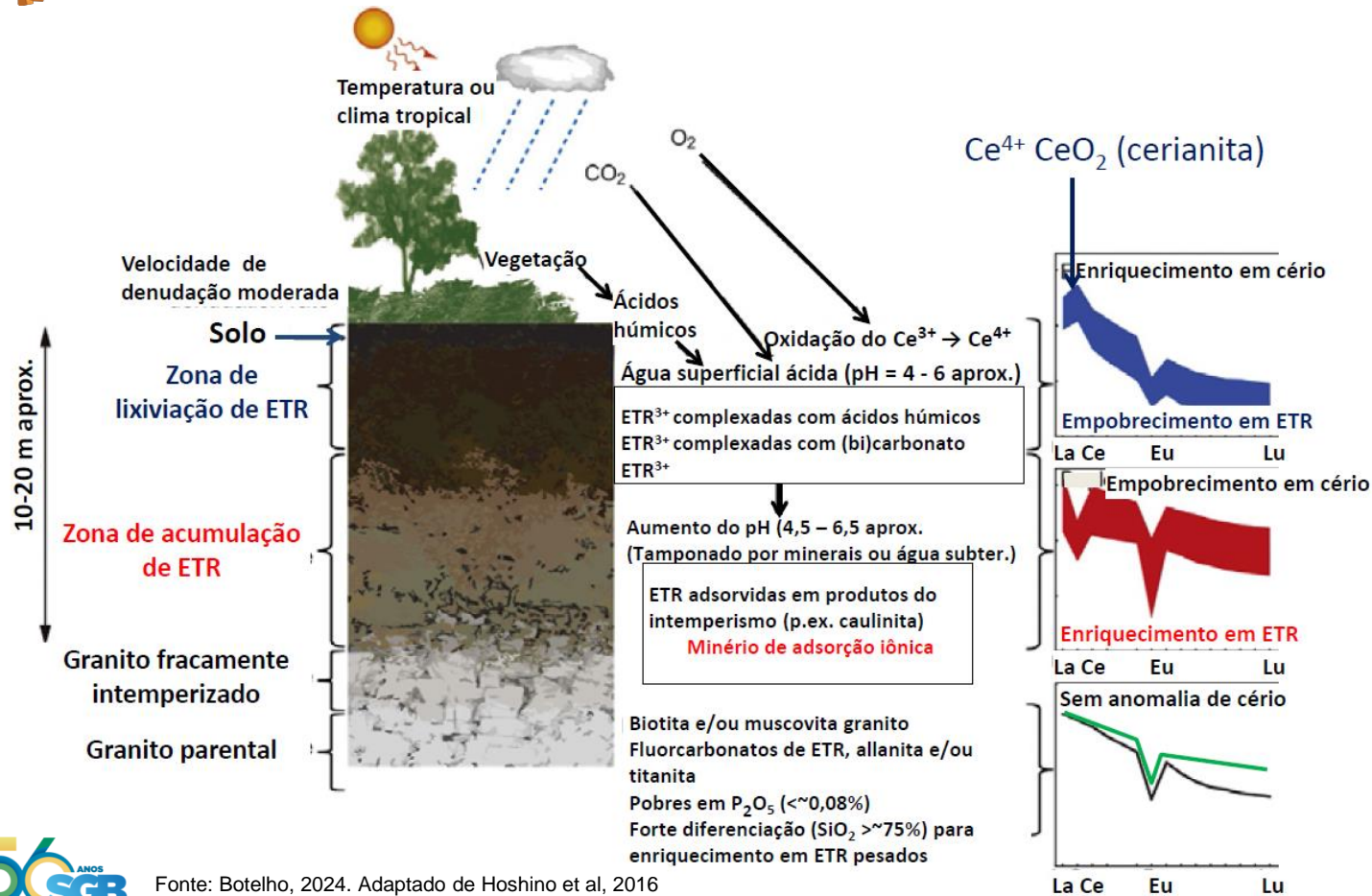


## Perfil Regolítico





# Perfil Regolítico



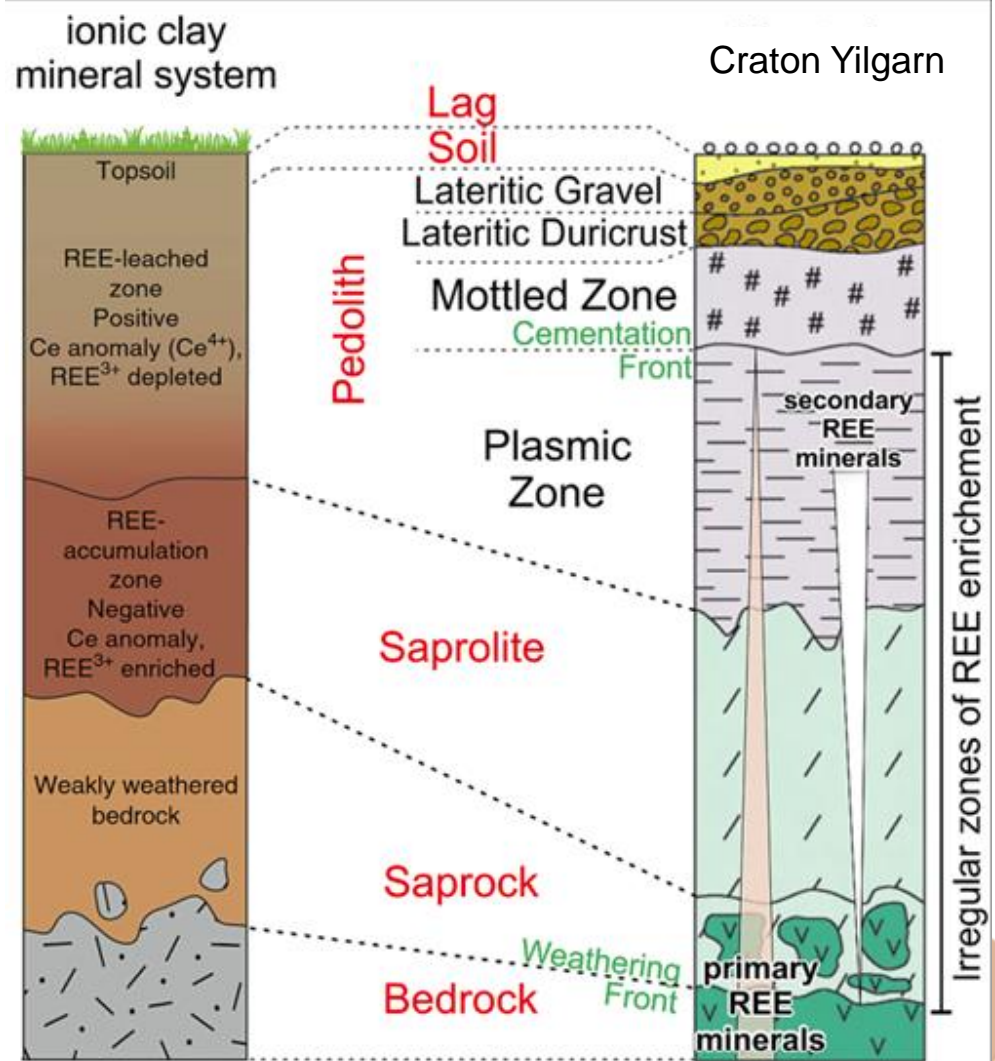
## Zonas de Intemperismo e Anomalia de Cério (Ce):

- O Cério (Ce) é menos móvel e é incorporado em óxidos de Mn e cerianite (CeO<sub>2</sub>) como Ce<sup>4+</sup> em condições oxidantes próximas à superfície.
- A anomalia negativa de Ce em terrenos graníticos intemperizados é um bom indicador de exploração para minérios de adsorção iônica.

# Perfil Regolítico

Comparação da mobilidade de ETR em perfis de regolito de mineralização de argila iônica vs. perfis de regolito sobre rochas graníticas/máficas no Cráton Yilgarn.

- Os horizontes em letras vermelhas se aplicam a ambas as colunas de regolito.
- Observe que as anomalias de Ce e o enriquecimento de ETR em saprolito não estão bem definidos nos perfis de regolito australiano.
- As setas rosa e branca indicam a abundância relativa de minerais de ETR primários e minerais de ETR secundários, respectivamente.



Fonte: Knorsch et al., 2025. Modificado após Borst et al. (2020) e Anand e Butt (2010).



# Exemplos

**Província Estanífera da Goiás**

**Depósito Serra Dourada**

**Depósito Pedra Branca**

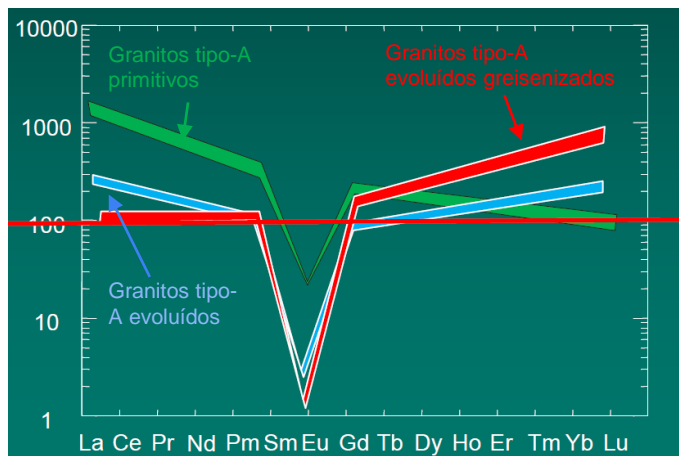
**Província Jiangxi, Sul da China**

**Depósito Bankeng**

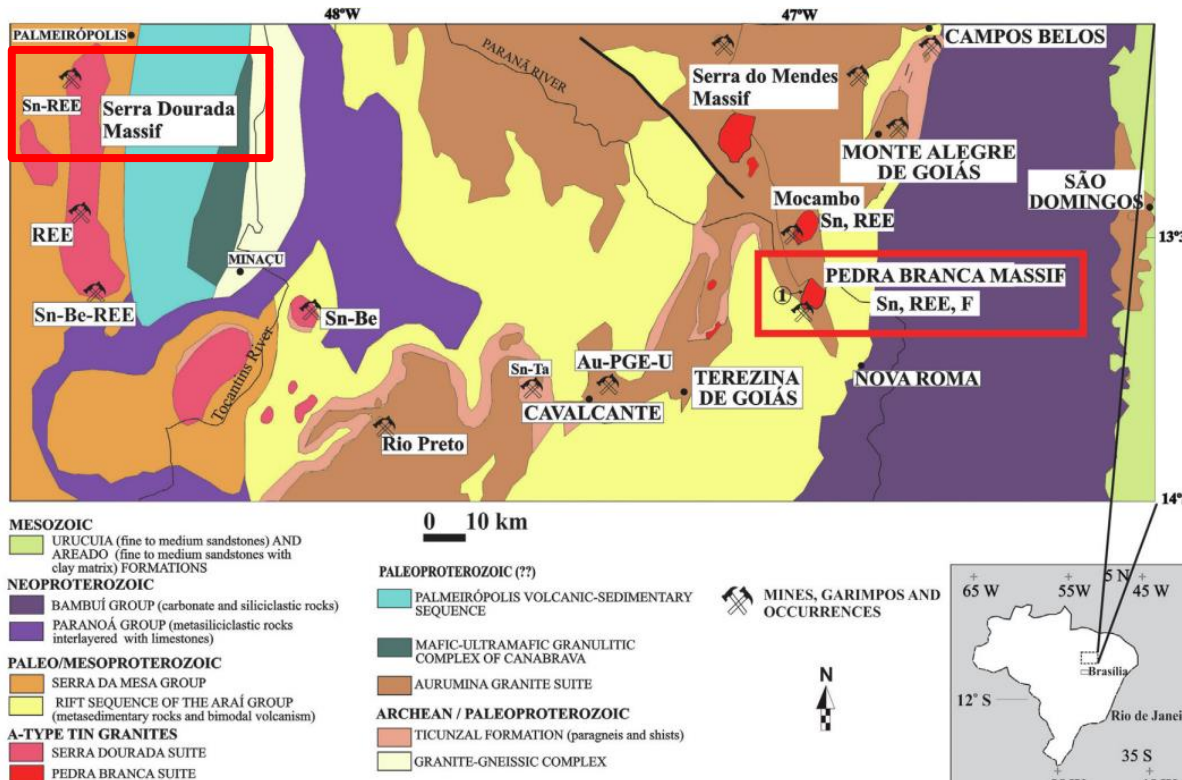


# Província Estanífera da Goiás

Padrões de REE em granitos do tipo A da Província Estanífera de Goiás.



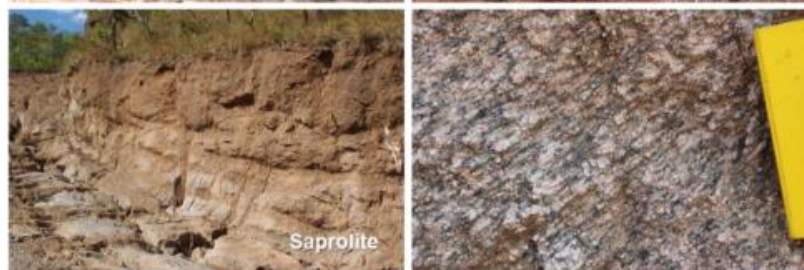
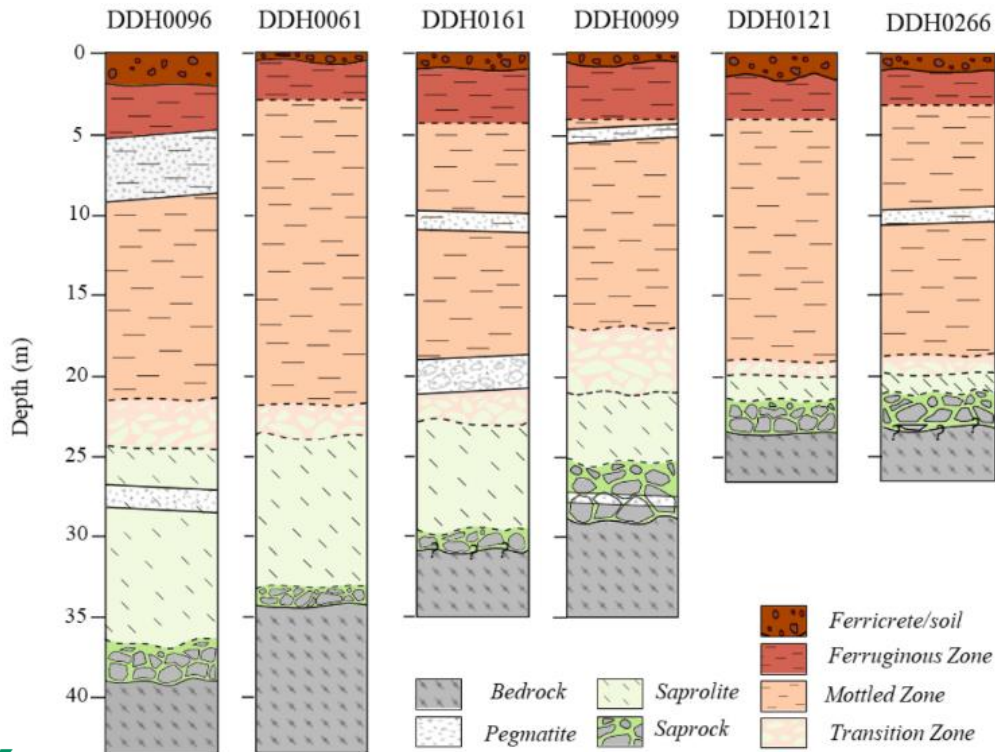
Fonte: Botelho, 2024



Fonte: Costa et al, 2020



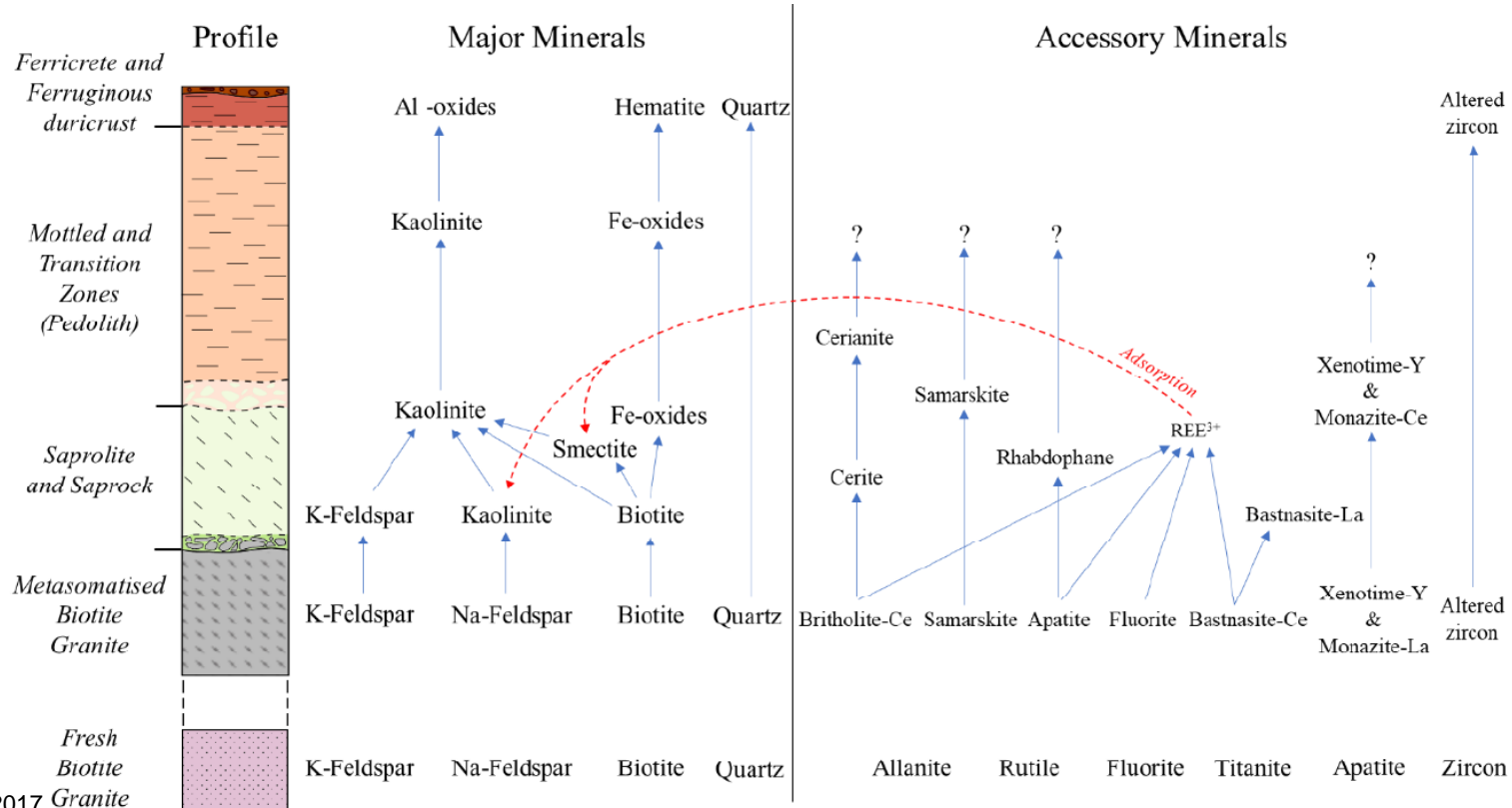
# Depósito Serra Dourada





# Depósito Serra Dourada

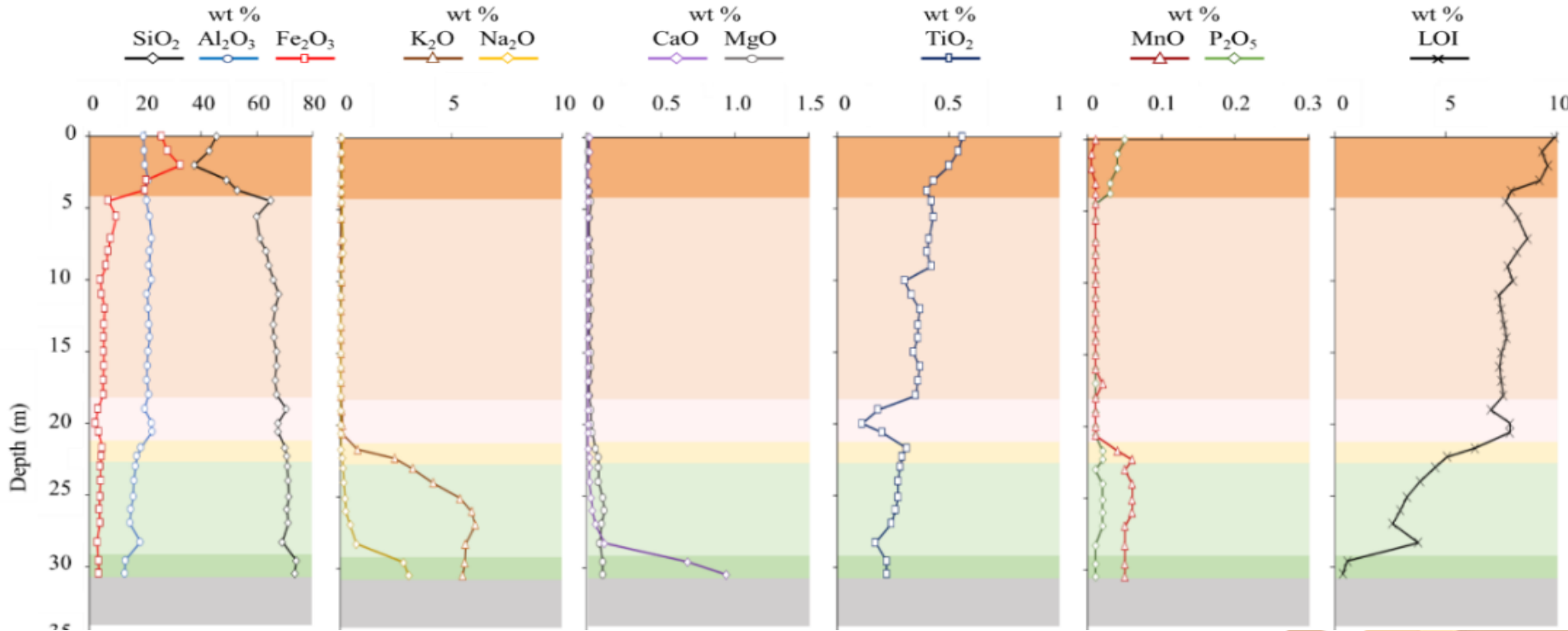
Sumário esquemático da transformação mineral no perfil de intemperismo da Mina Serra Verde.





# Depósito Serra Dourada

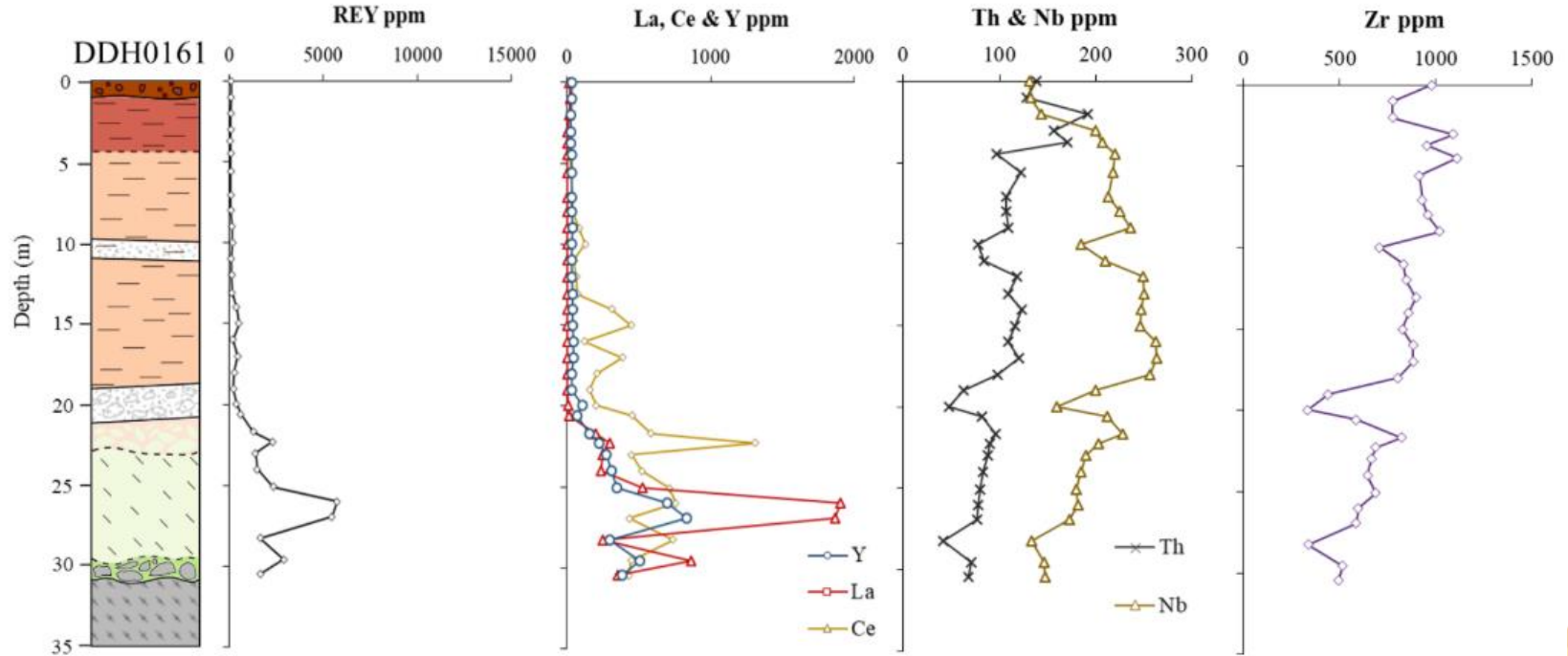
Distribuição dos elementos ao longo do furo de sondagem DDH0161.





# Depósito Serra Dourada

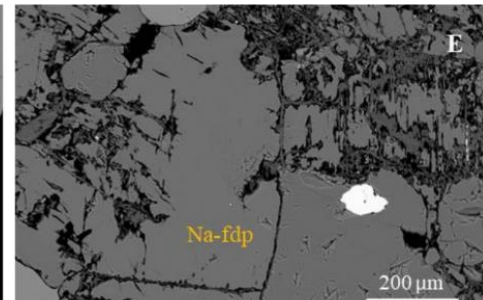
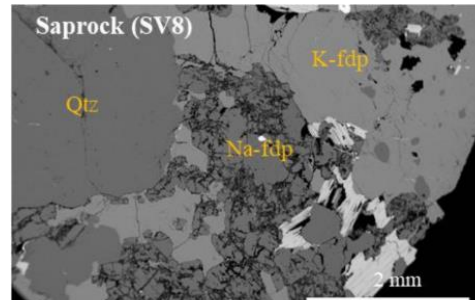
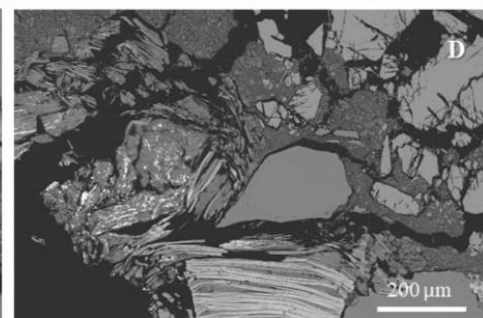
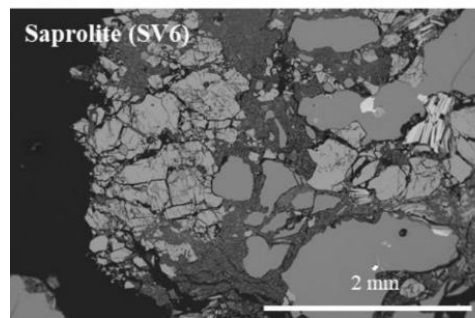
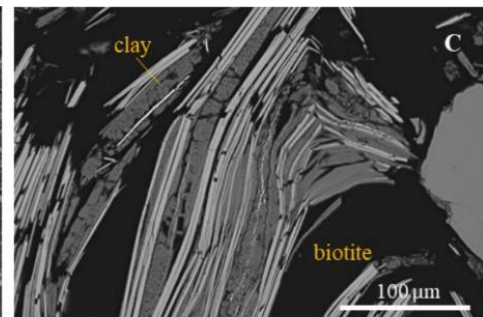
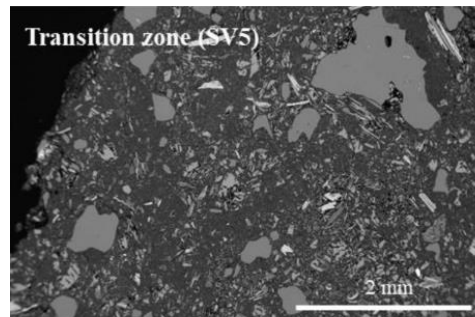
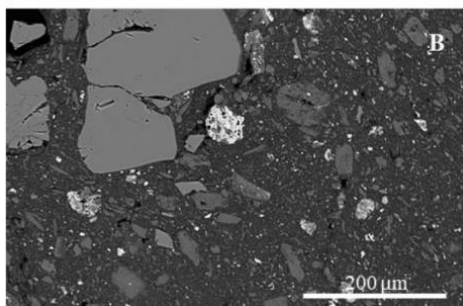
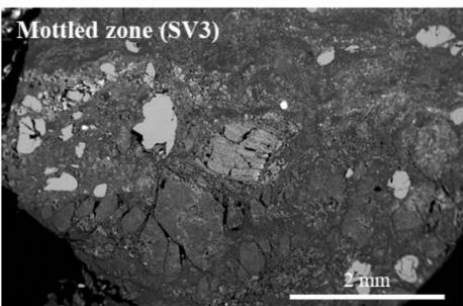
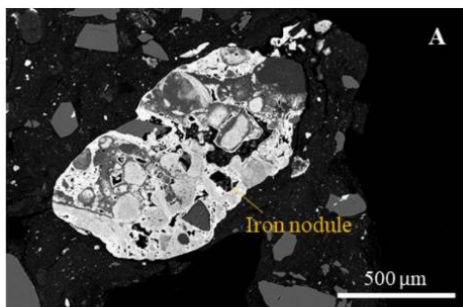
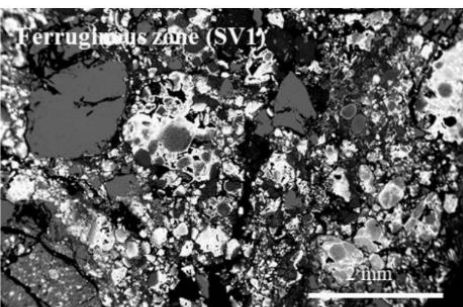
Distribuição de elementos traço ao longo do perfil





# Depósito Serra Dourada

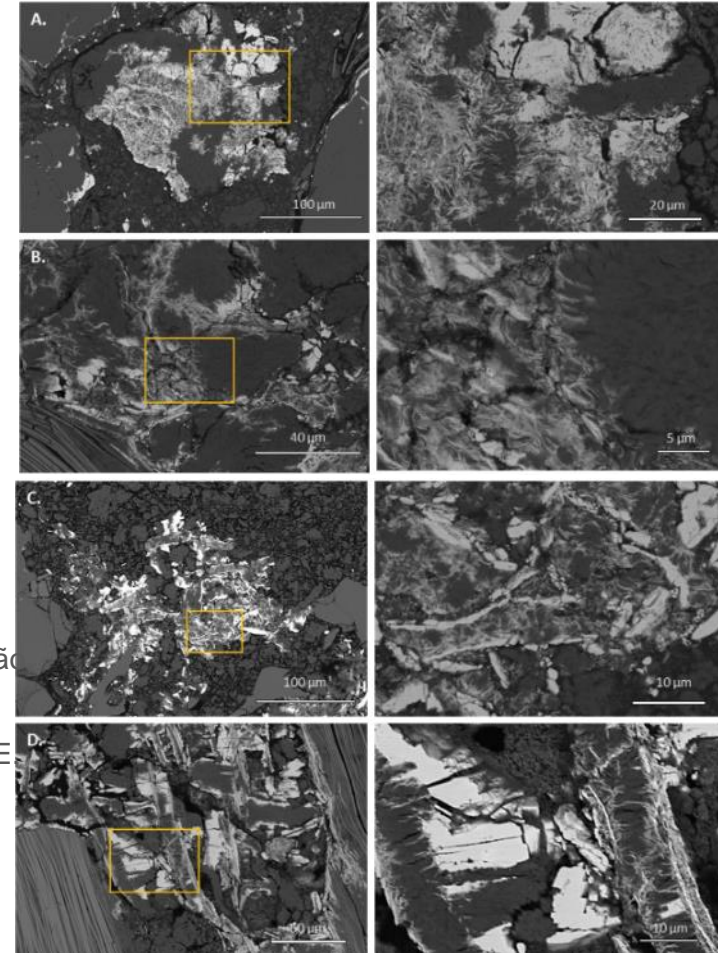
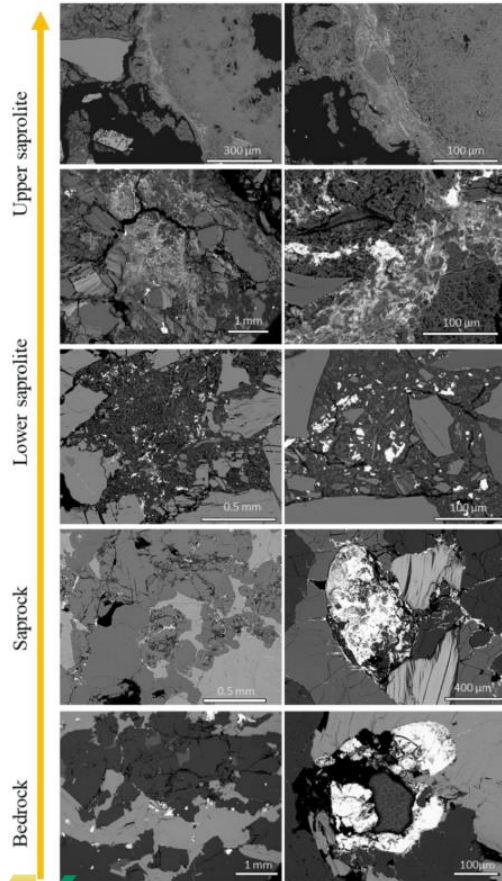
Imagens SEM-BSE de rochas intemperizadas em cada um dos horizontes. Amostras de DDH0161.





# Depósito Serra Dourada

Imagens SEM-BSE com a distribuição e morfologia de fluorcarbonatos ETRL em diferentes níveis do horizonte saprolítico do furo de perfuração DDH0161



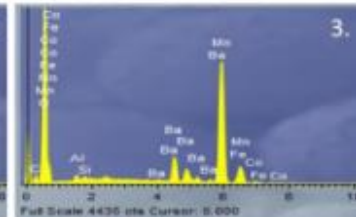
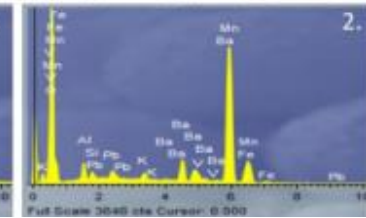
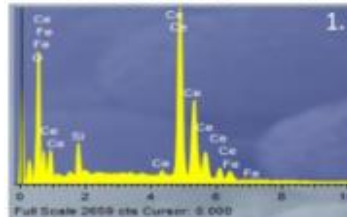
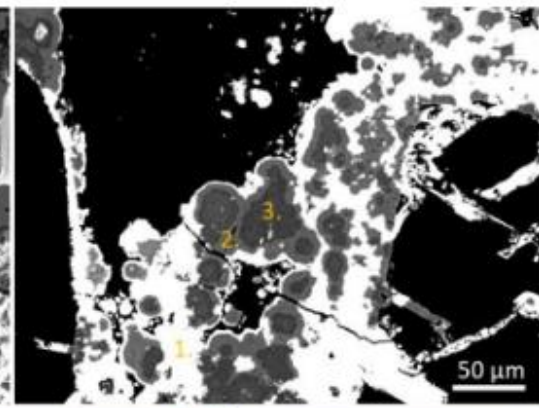
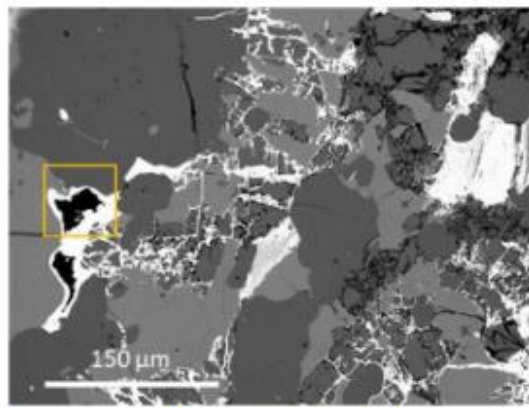
Processos de dissolução, mobilização e reprecipitação de fluorcarbonatos de REE



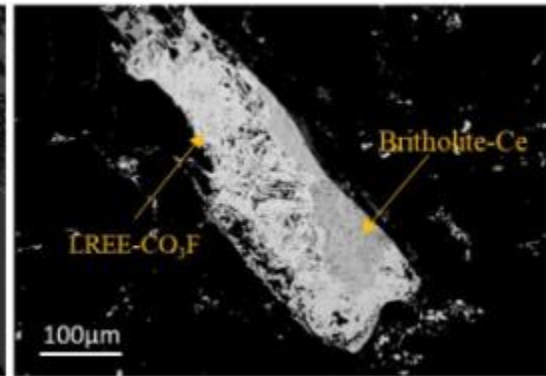
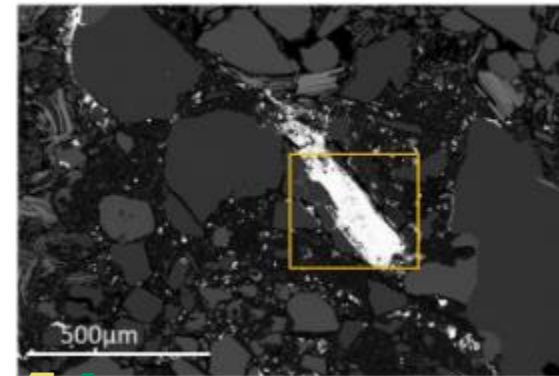
# Depósito Serra Dourada

## Óxidos de Ce e Silicatos

Minerais de britolita intercrescidos com fluorcarbonatos ETRL (DDH0161).

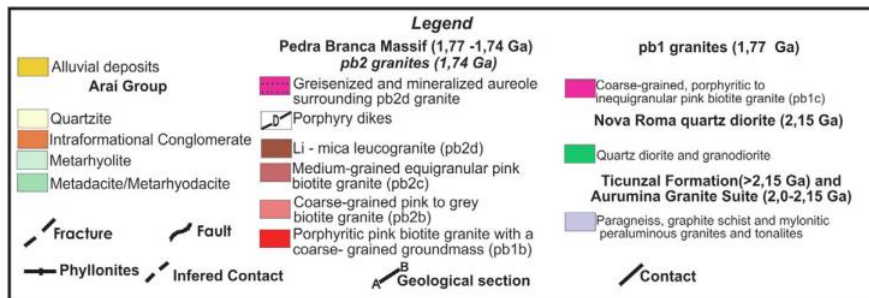
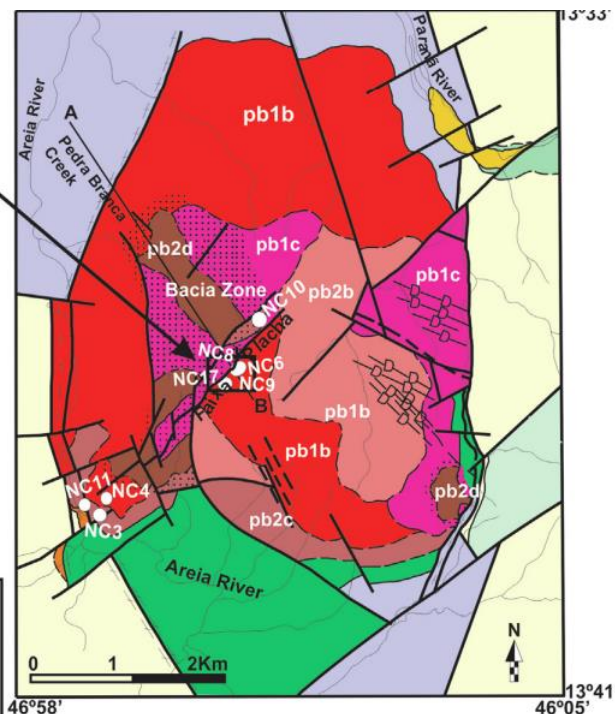
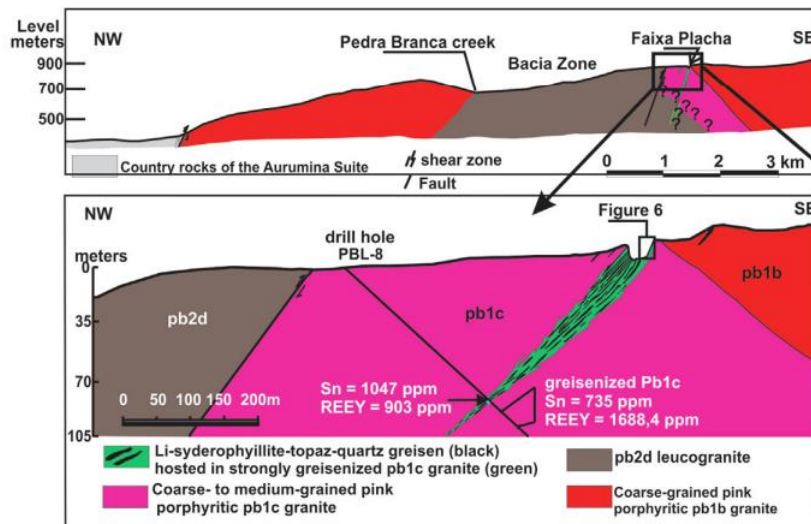


Óxidos de Ce associados a óxidos de Ba-Mn botrioidais (psilomelano) (DDH0099).





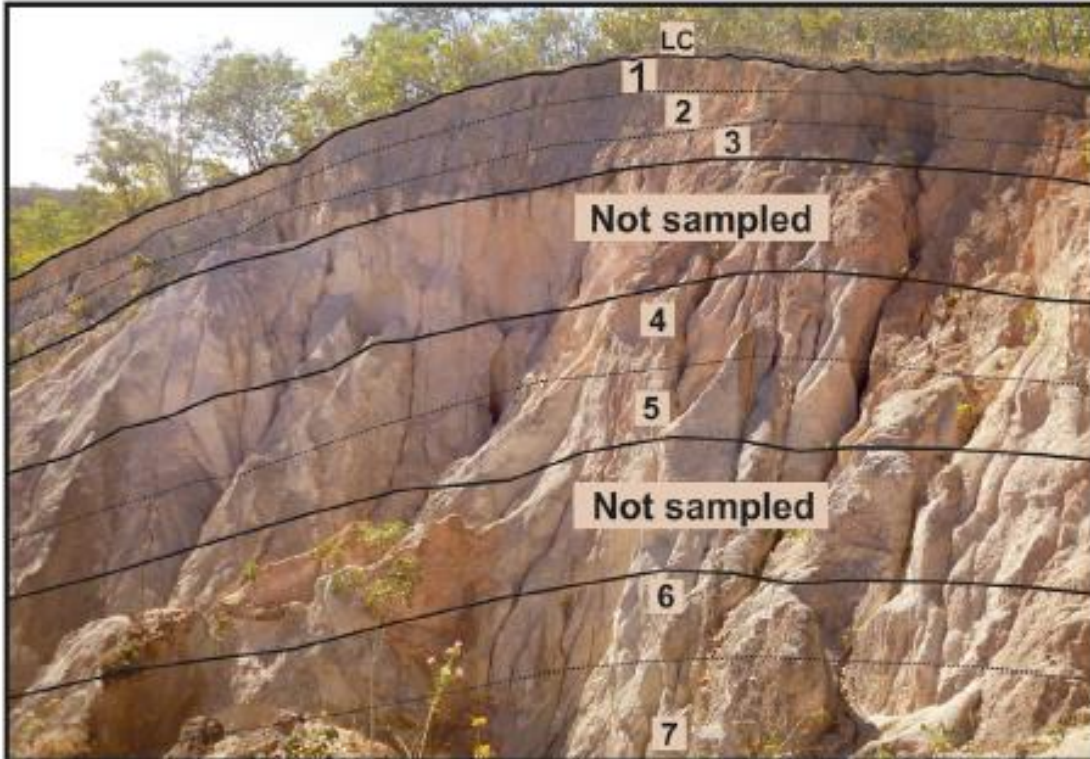
# Depósito Pedra Branca



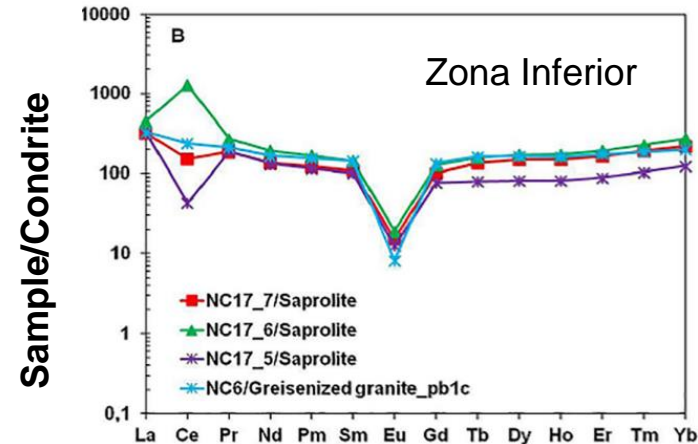
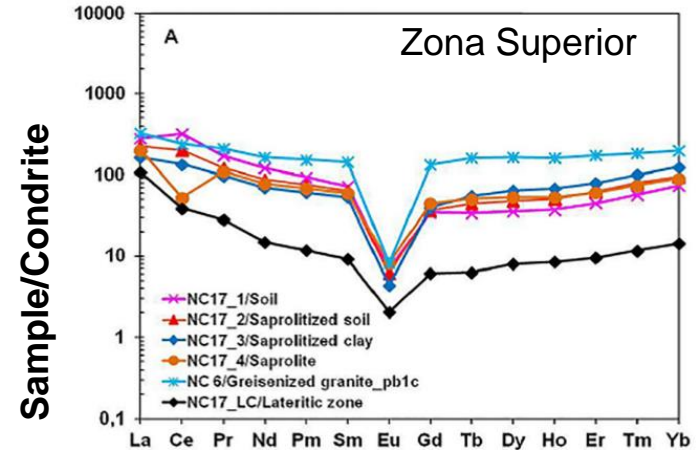
Fonte: Costa et al, 2020



# Depósito Pedra Branca



Padrões de ETR normalizados por condrito (Boynnton, 1984)  
do perfil de intemperismo da Faixa Placha



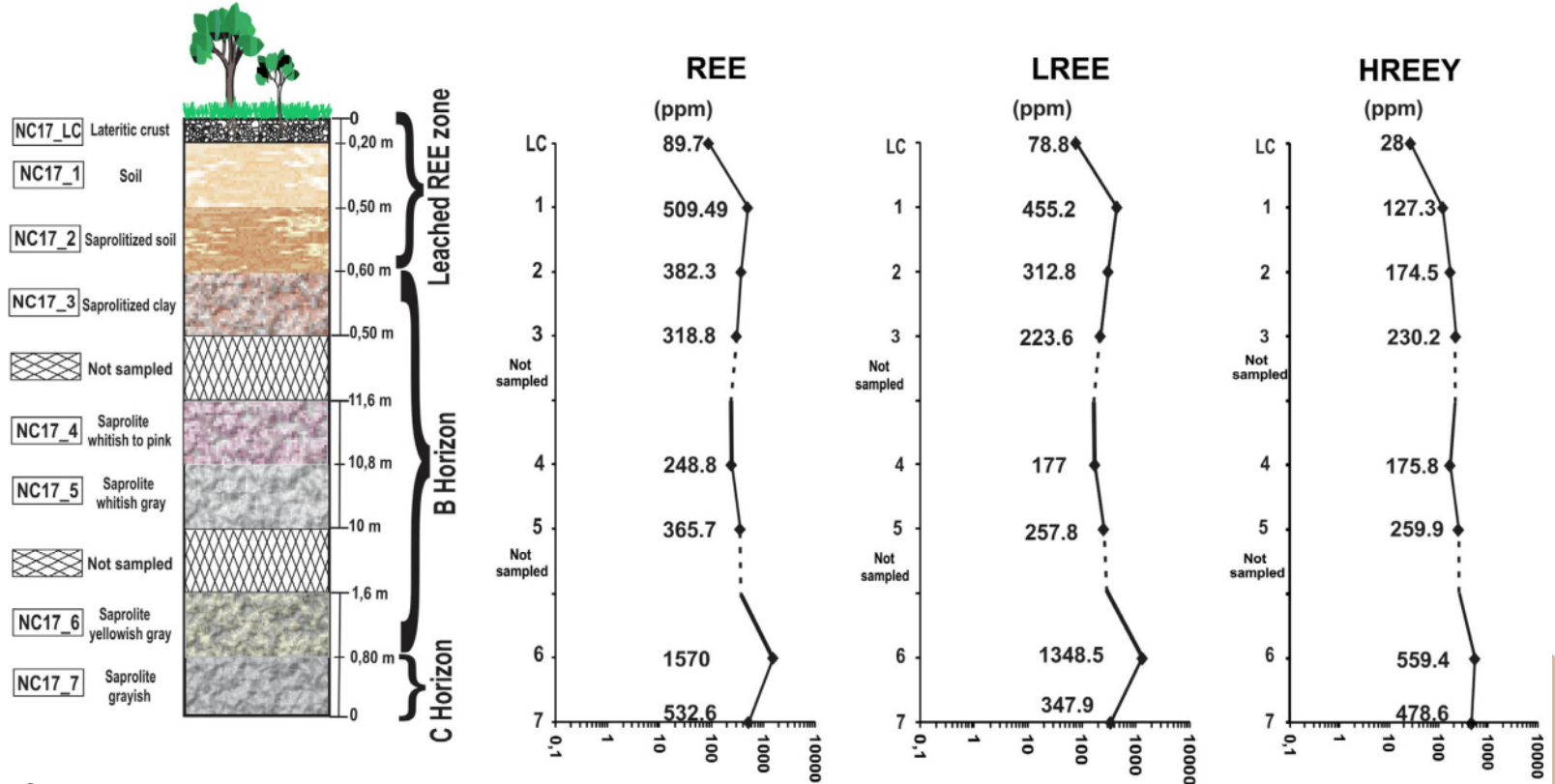
Fonte: Costa et a, 2020

(N6C) granito greisenizado abaixo do perfil de intemperismo



# Depósito Pedra Branca

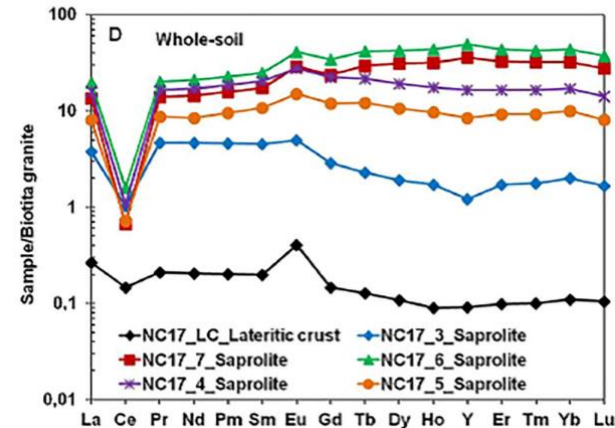
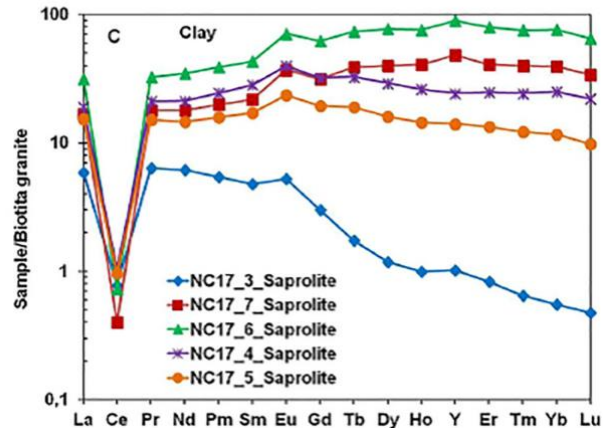
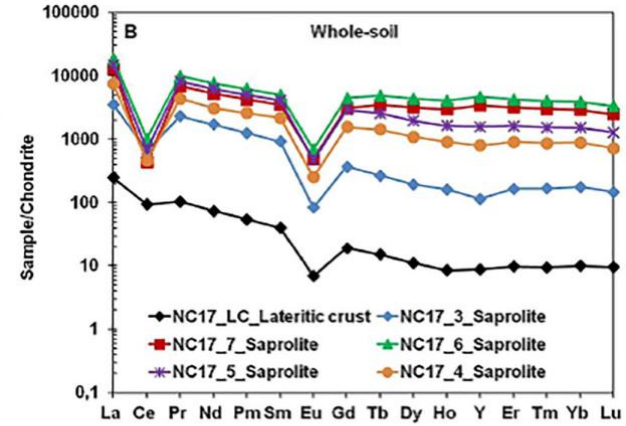
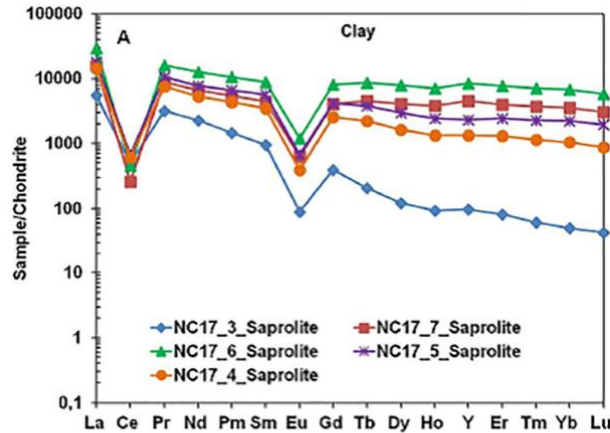
Esquema e diagrama mostrando a variação da concentração relativa de ETRY no perfil de intemperismo do depósito de estanho





# Depósito Pedra Branca

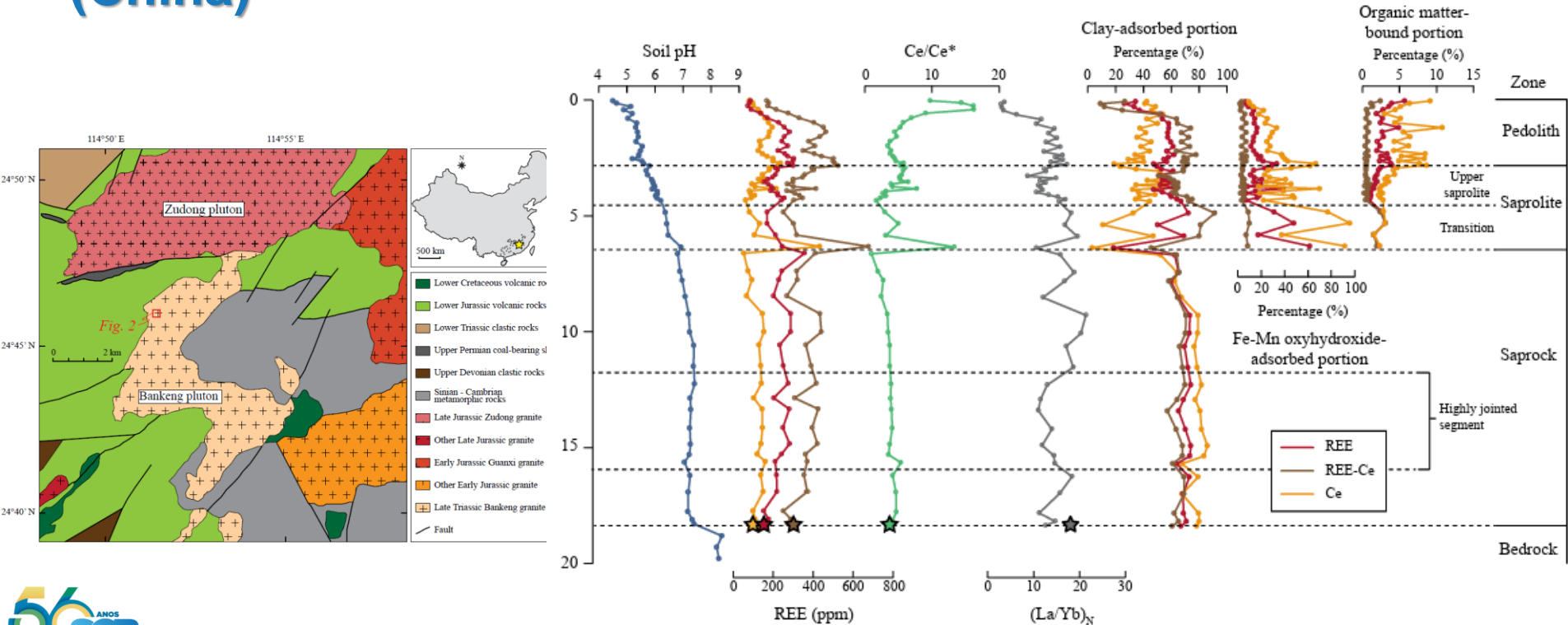
Padrões de ETR normalizados ao condrito e ao granito parental de íons trocáveis na fração argila e no solo total em perfil de intemperismo do Maciço Pedra Branca





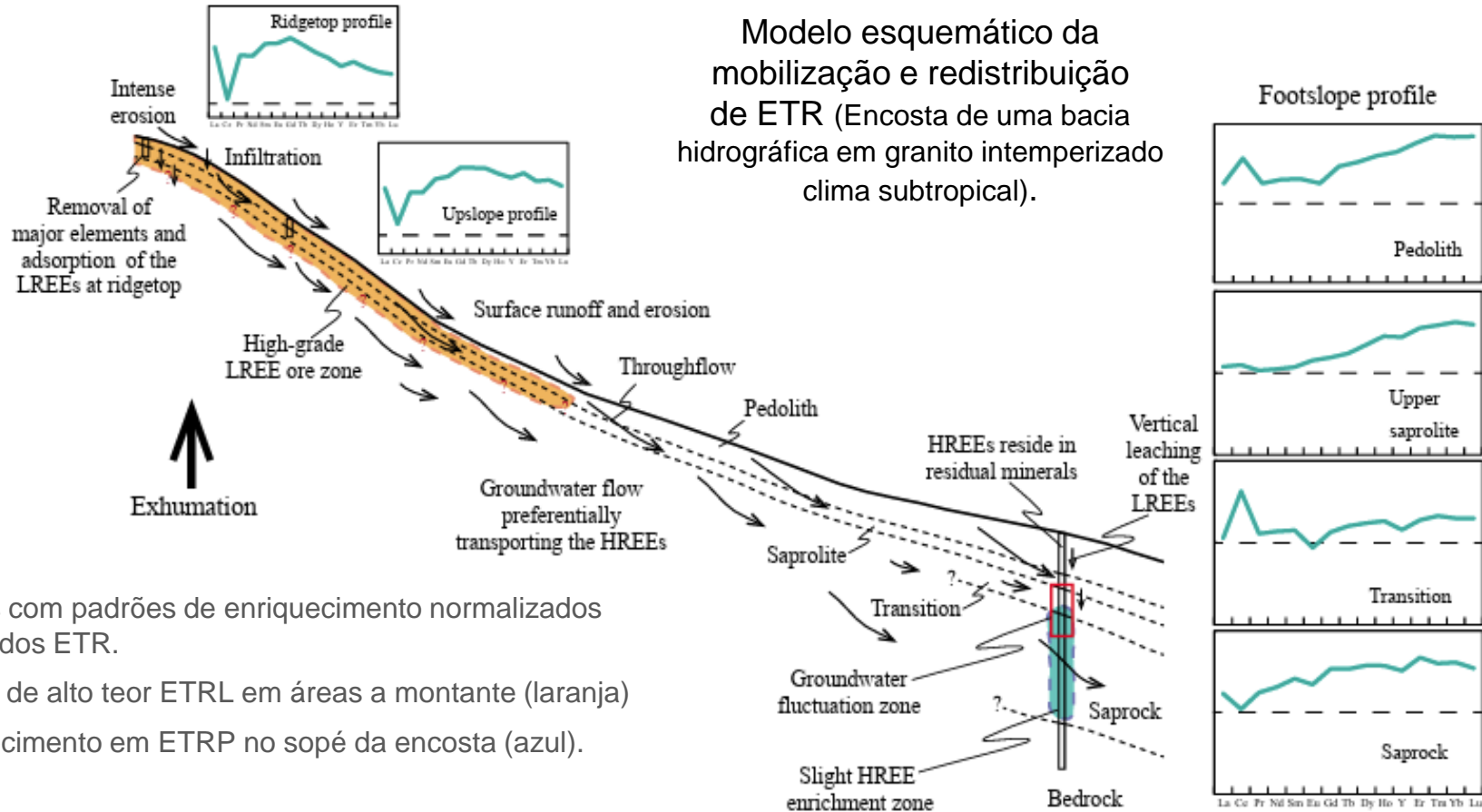
# Depósito Bankeng (China)

Variação na concentração de ETR, anomalia CE normalizado com rocha mãe ( $Ce/Ce^*$ ),  $(La/Yb)_N$  e proporção de argilas dsorvidas, Fe-Mn oxidhidroxidos adsoervidos e matéria orgânica com ETR, concentração de ETR-Ce com a profundidade do perfil regolítico



# Depósito Bankeng (China)

Modelo esquemático da mobilização e redistribuição de ETR (Encosta de uma bacia hidrográfica em granito intemperizado clima subtropical).



Diferentes perfis com padrões de enriquecimento normalizados pela rocha-mãe dos ETR.

Zona de minério de alto teor ETRL em áreas a montante (laranja)

Zona de enriquecimento em ETRP no sopé da encosta (azul).



# Depósitos de ETRs associados a regolitos no Brasil: um novo pólo produtor de referência mundial?





# Situação atual do País

Fase I - produção ~ 5.000 t/ano OTR - vida útil da mina de 25 anos

Fase II – dobrará a produção até o final da década 2020.

## Mineração Serra Verde (Minaçu, GO)



- |  |  |
|--|--|
| 1. Área Administrativa ( Prédio ADM, Vestiário e Refeitório) | 9.Planta Piloto                                |
| 2.Oficina de Manutenção de Veículos                          | 10.Área da Precipitação                        |
| 3.Oficina de manutenção da Planta                            | 11.Concentrado (Espessador)                    |
| 4.Galpão de estocagem de produtos                            | 12.Filtragem da Precipitação                   |
| 5.Área do tanque de Água bruta                               | 13.Área de apoio das contratadas               |
| 6.Sala de controle   | 14.Filtragem da Troca Iônica                   |
| 7.Tanques de Troca Iônica                                    | 15.Galpão de estocagem de NaCl (Galpão de Sal) |
| 8.Sala Elétrica  | 16.Área de preparação de NaCl e Reagentes      |



Fonte: <https://svpm.com.br/br/operacao/>



# Situação atual do País

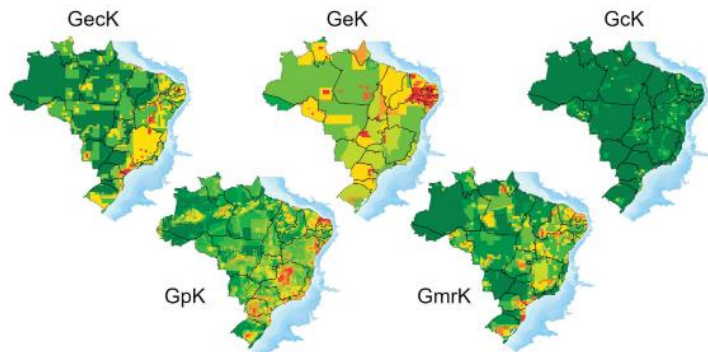
Mapa geológico do Brasil  
(Escala 1:2.500.000)





# Situação atual do País

## Índice do Conhecimento Geocientífico



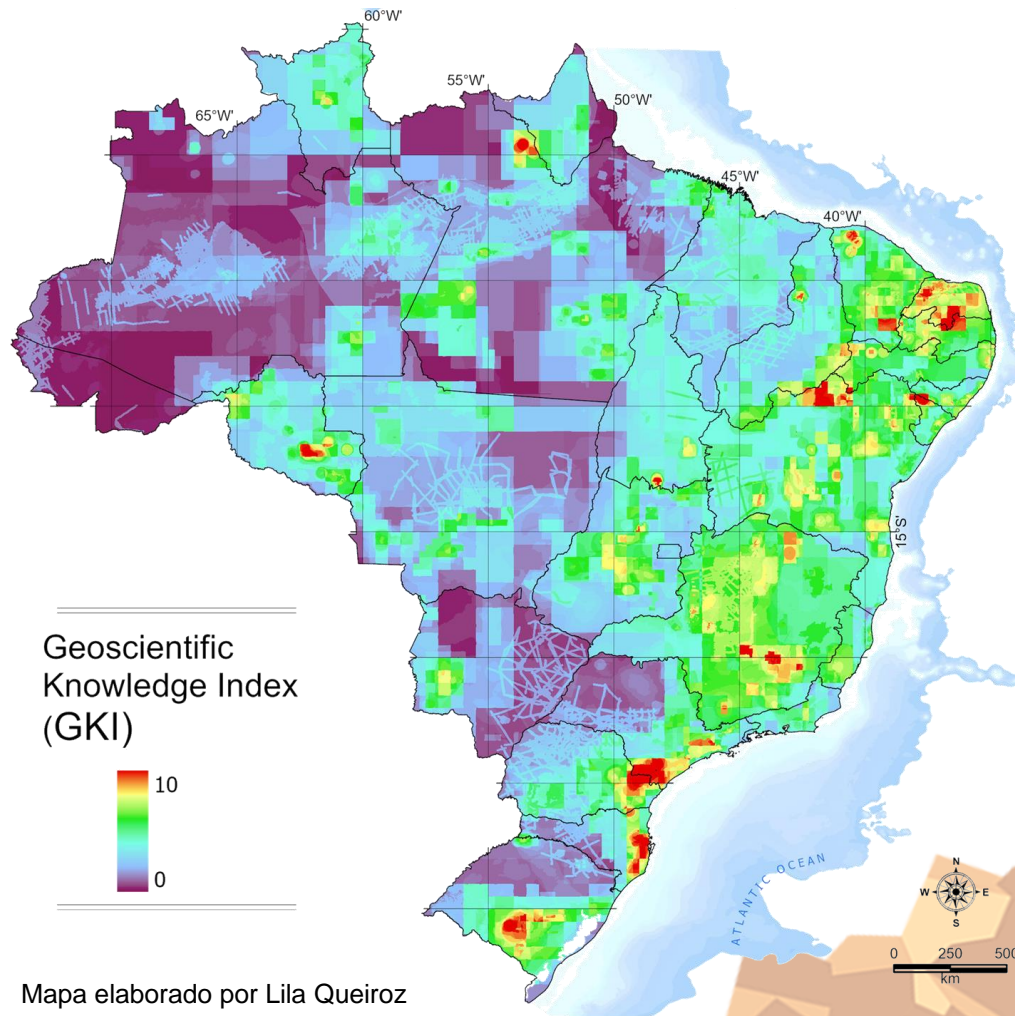
Geck – Cartografia geológica

GeK – Mapas geológicos produzidos por integração de dados geofísicos

GpK – Geofísica

GcK – Prospecção Geofísica

GmrK – Projetos recursos minerais



Mapa elaborado por Lila Queiroz

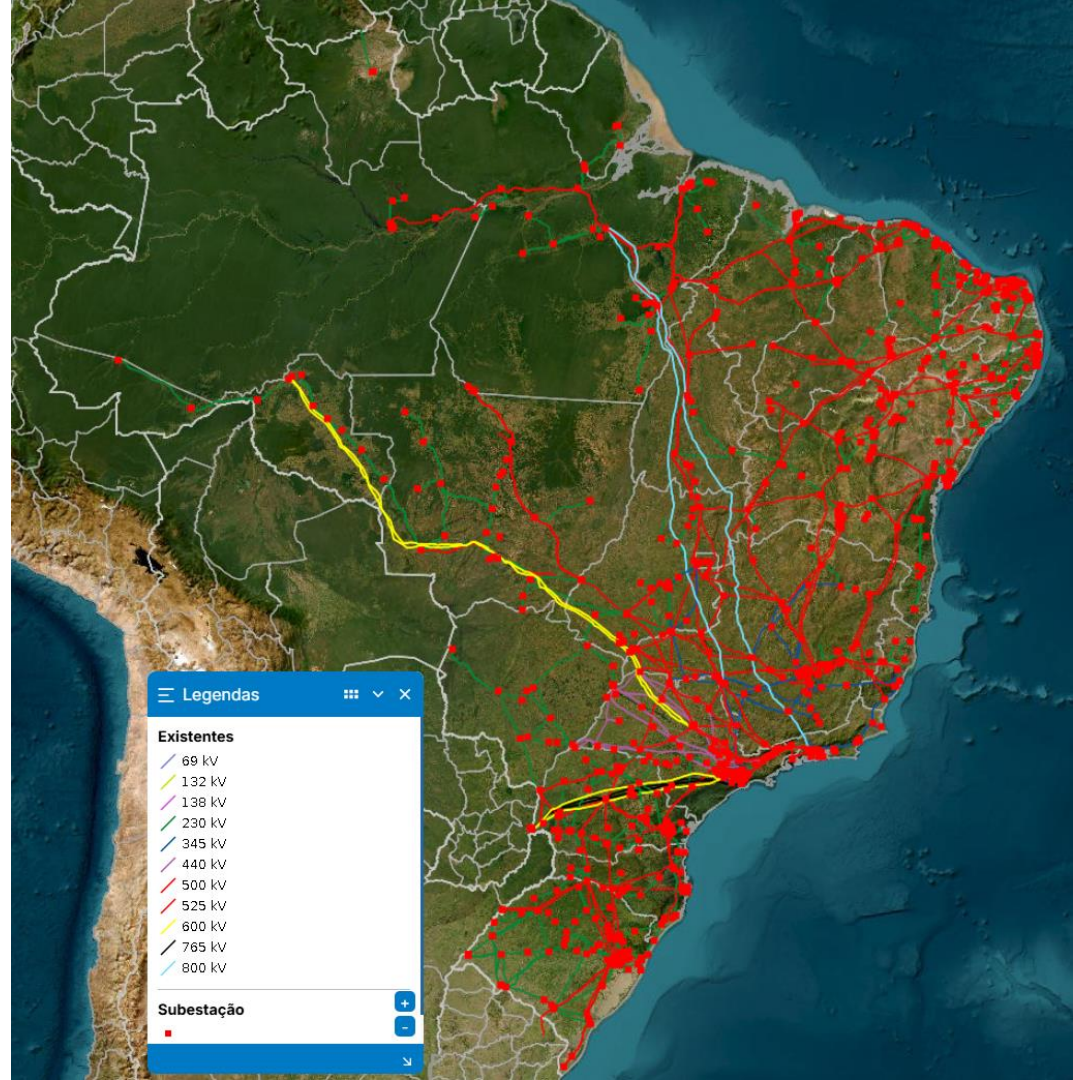


# Situação atual do País

- Infraestrutura
  - É um dos fatores que impactam no desenvolvimento de um empreendimento mineiro.
  - Aqui o exemplo das Linhas de Distribuição de Energia Elétrica

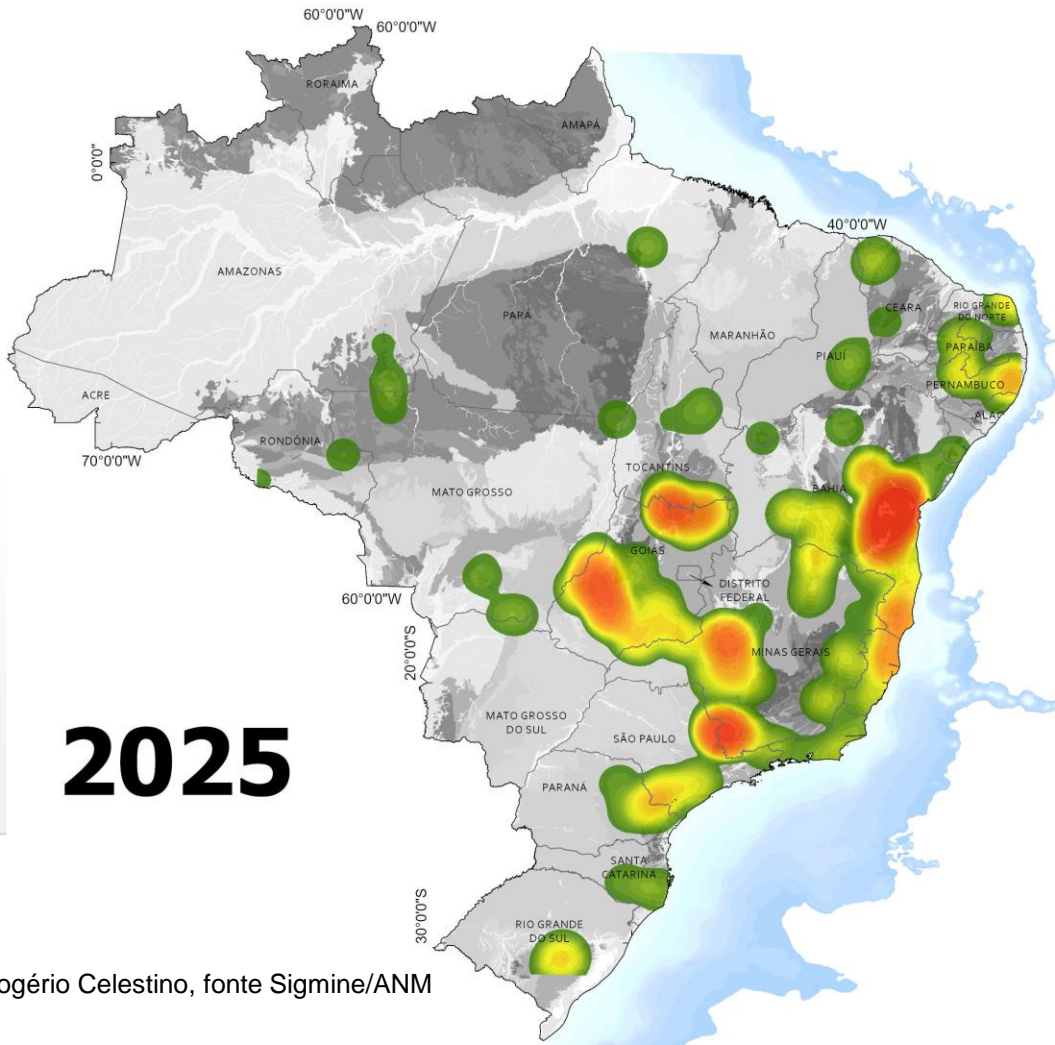
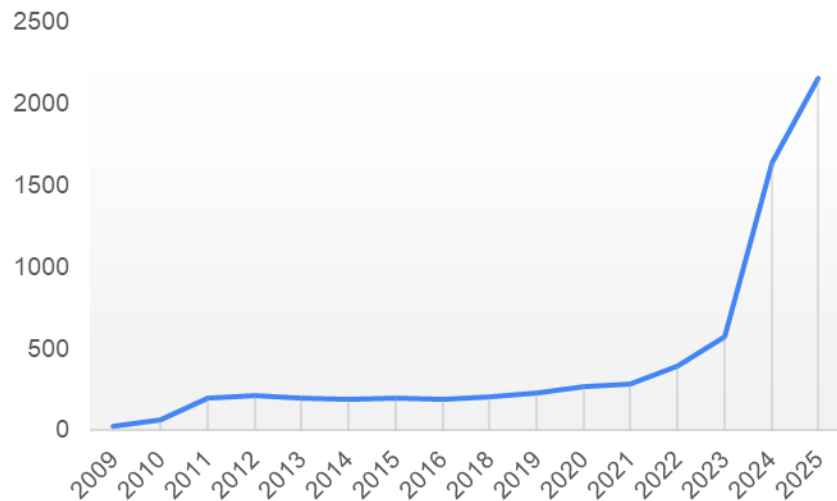


Fonte: <https://p3mgeo.sgb.gov.br/>





# Situação atual do País



Elaborado por Rogério Celestino, fonte Sigmint/ANM



# Situação atual do País

Cenário atual

Empresas de mineração que publicaram  
recurso ou relatórios de aquisição de  
áreas.

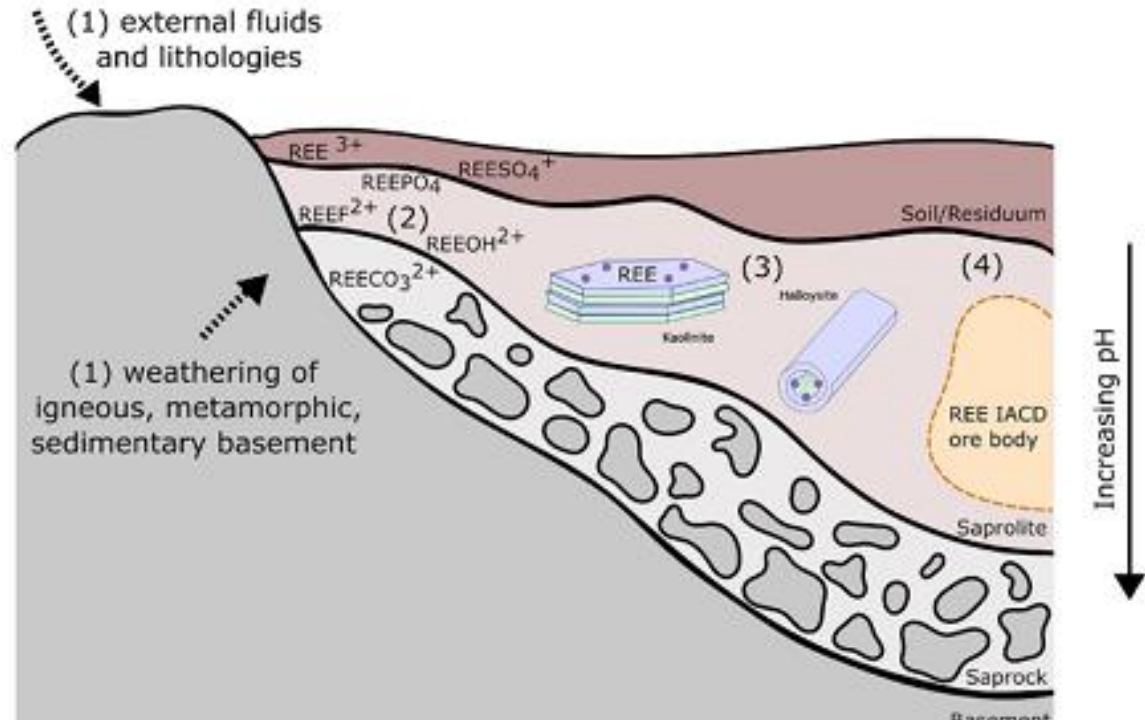
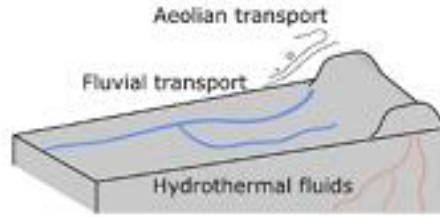
Elaborado pela autora



## Considerações finais

Desenvolvimento de Sistema mineral de ETR associados a regolitos é necessário:

- (1) Fonte de ETR;
- (2) Mobilização de ETR;
- (3) Adsorção de ETR;
- (4) Preservação do corpo de minério.





OBRIGADA



MINISTÉRIO DE  
MINAS E ENERGIA

