



Potencial de extração de terras raras em rejeitos

Lucy Takehara



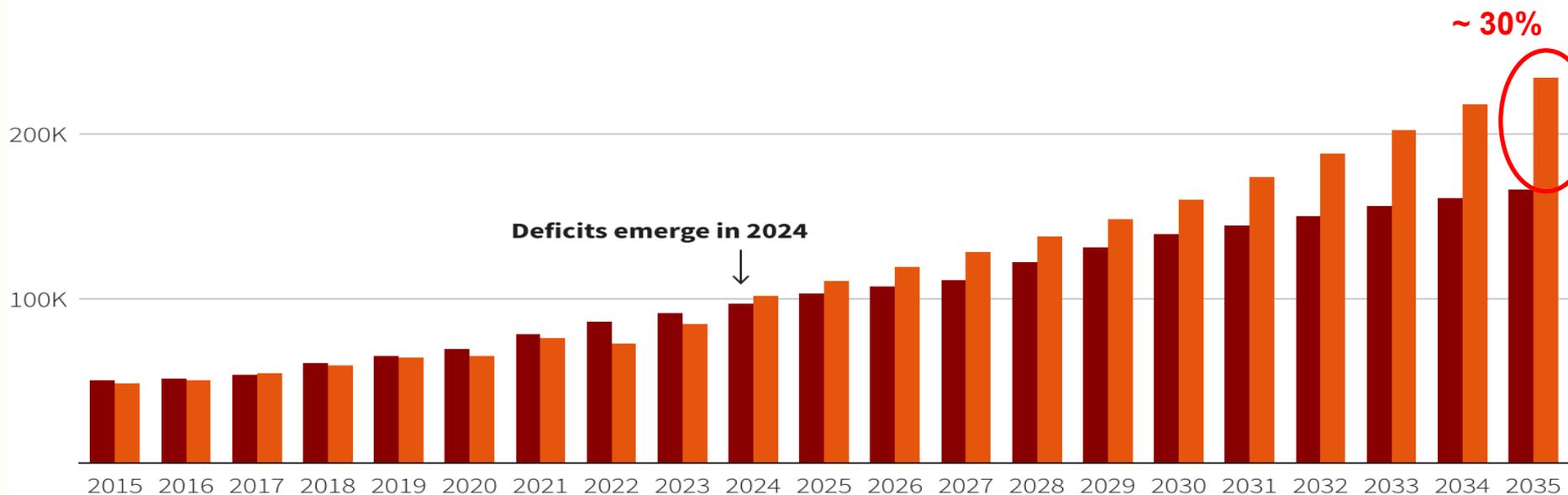
Sumário

- Cenário Atual
- Métodos de recuperação de TR em Rejeitos
- Extração de TR como subproduto, exemplos no Brasil
 - Mineração Taboca
 - CBMM
 - Província Estanífera de Rondônia
- Contexto geológico
- Potencial Brasileiro
- Desafios
- Comentários finais



Déficit de Terras Raras nas demandas para Transição energética

● Production ● Demand



Note: NdPr oxide production and demand in tonnes. Historical data through 2022 and forecasts from 2023

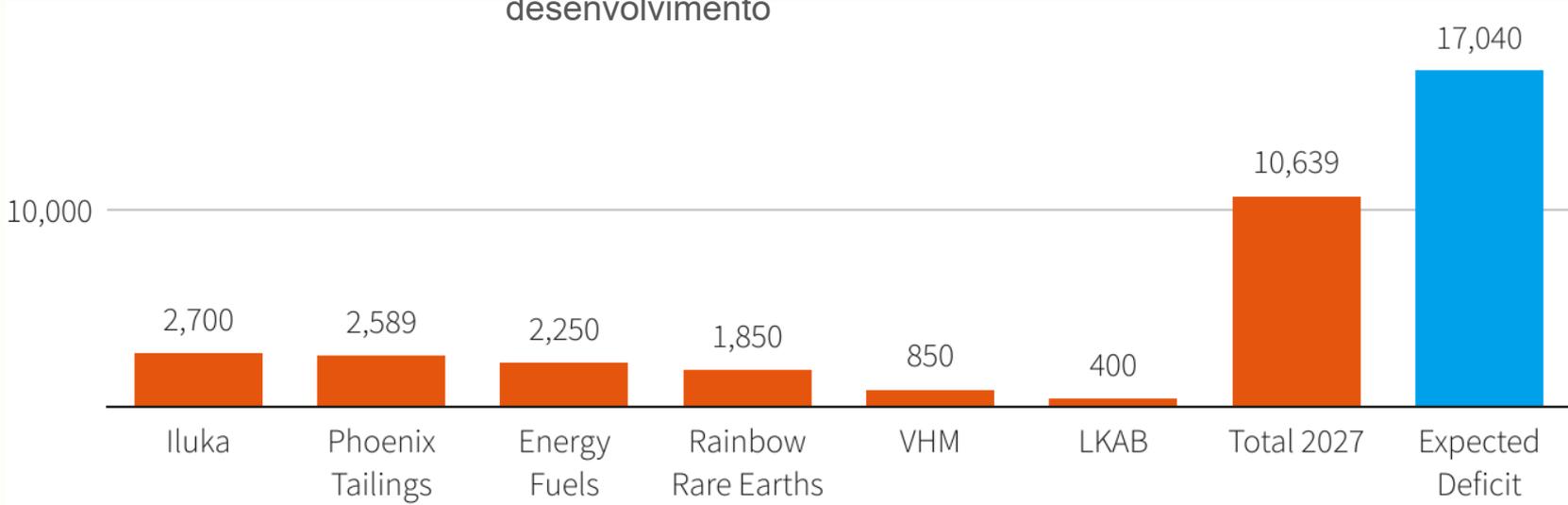
Source: Adamas Intelligence





Cenário Atual

Projetos de extração de TR a partir e rejeitos de mineração em desenvolvimento



Note: Yearly production in tonnes of neodymium and praseodymium (NdPr) oxide in 2027. LKAB output of total rare earths is 2,000 T, NdPr is estimated by Adamas. Phoenix to produce 2,200 T of NdPr metal, Adamas calculated equivalent in oxides. Energy Fuels figure is midpoint of projected output of 1,500-3,000 T.

Source: Companies and Adamas Intelligence

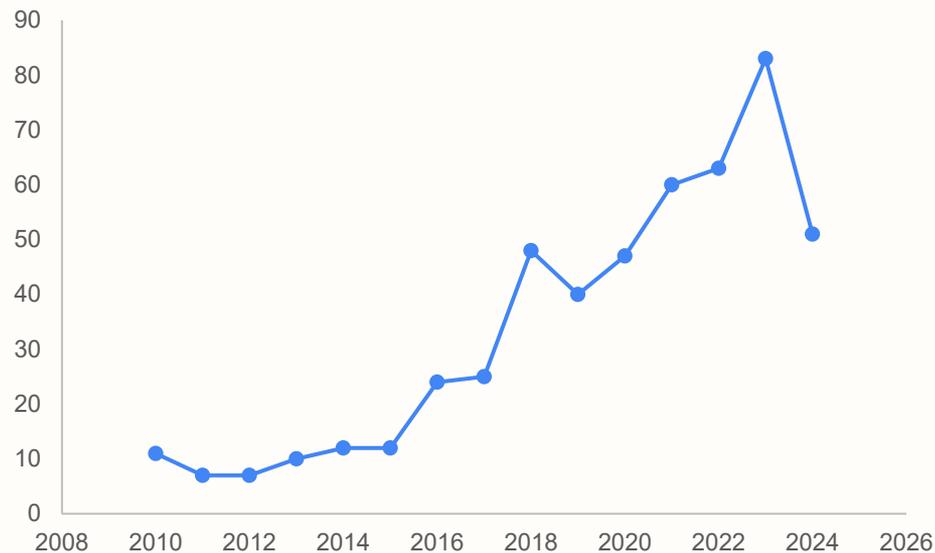




Cenário Atual

Número de artigos científicos publicados sobre o tema – **“Terras Raras” e “rejeitos de mina”**

(Pesquisa no *ScienceDirect* apenas)





Métodos para recuperação de TR em rejeitos

- Método Hidrometalúrgico (Ray & Misrha (2023) - <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101311>)
 - Rejeito de mineração ($\Sigma\text{REE} + \text{Y}$ 5.300 ppm)
 - Drenagem ácida de mina (ΣREE 1,5 ppm)
 - Fosfogesso ($\Sigma\text{REE} + \text{Y}$ 5.460 ppm)
 - Cinza de combustão de carvão ($\Sigma\text{REE} + \text{Y}$ 534 ppm)
 - Argila vermelha (**ΣREE 753 ppm**)
- Método Biomineração (Vo, et al. (2024) - <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168210>)
 - Drenagem ácida de mina de carvão (**ΣREE 1 - 714 ppm**)
 - Drenagem ácida de mina de ouro (**ΣREE 1.239 ppm**)
 - Drenagem ácida de mina de Urânio (**ΣREE 120.208 ppm**)
 - Argila vermelha (**ΣREE 1.320 ppm**)
- Método Estruturas porosas que formam Nano armadilhas (Hu et al (2024) – (<https://www.nature.com/articles/s41467-024-45810-1>))





Extração de TR como Subproduto

Mina Taboca - Iniciativa

PRINCIPAL MINERALOGIA DE MINÉRIO
DO ALBITA GRANITO PITINGA (AM)

Elementos	Mineral	Outros
Estanho (Sn)	Cassiterita (SnO ₂)	
Nióbio (Nb) e Tântalo (Ta)	Niobatos metamórficos da família Pirocloro (Na ₃ Ca) ₂ (Nb,Ta) - (O,F) ₇	Columbita -Tantalita (Fe, Mn) (Nb, Ta) 7O ₆
Itrium (Y)	Xenotima (YPO ₄) , Gagarinita (NaCaYF ₆) Wairimita (fuoreto de Ítrio com ETR pesados)	
Zirconium (Zr)	Malacon (ZrSiO ₄ .nH ₂ O) Zircão (ZrSiO ₄)	Catapleíta (Zirconato hidratado de sódio)
Urânio (U) e Tório (Th)	Torita Th (SiO ₄) Niobatos metamórficos, outros (?)	
ETR pesados (Dy, Er, Tb)	Xenotima (YPO ₄), Niobatos metamórficos, Fluocerita (Ce, La) F ₃	
Lítio (Li)	K ₂ Li ₃ Al ₃ (AlSi ₃ O ₁₀) ₂ (O, OH, F) ₄	Politionita / Annita siderofilita e biotita





Extração de TR como Subproduto

Mina Taboca - Iniciativa

Iniciativas

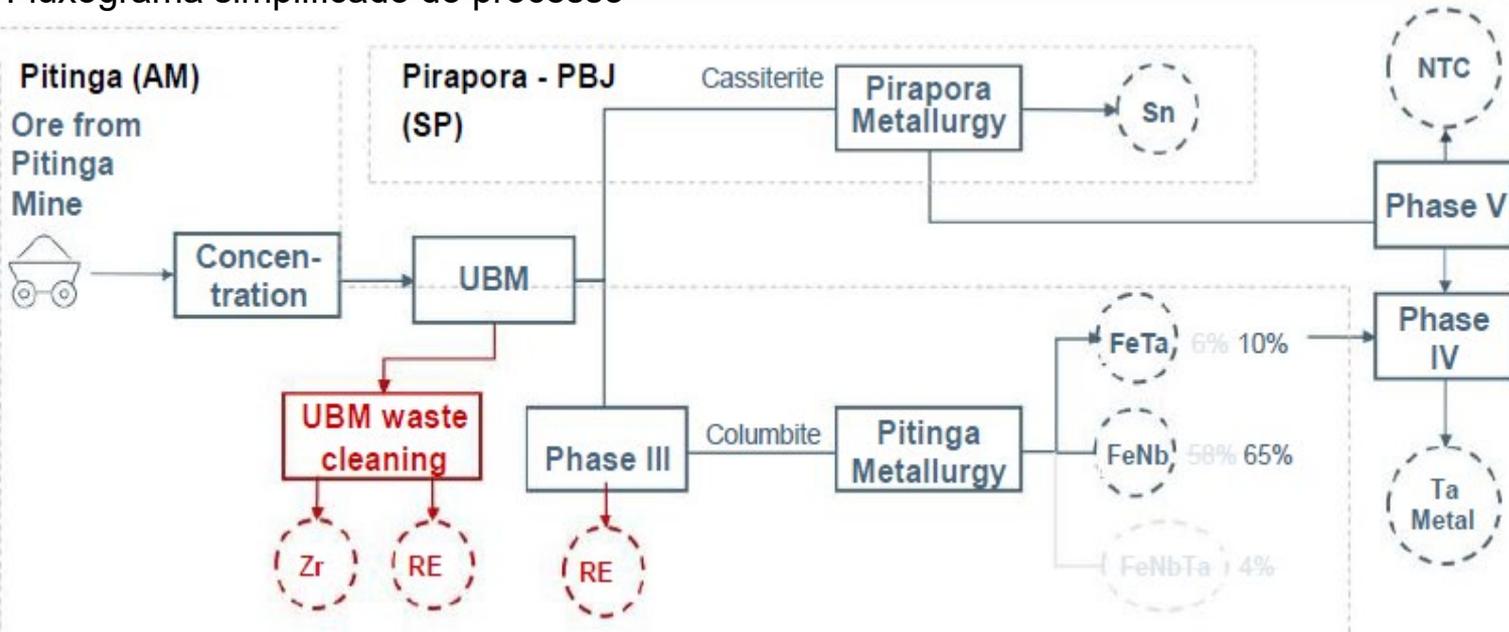
1. Fase 1
2. Fase II
3. Fase III
4. Fase IV: Metal Ta
5. Fase V: PBJ processamento rejeito

1. Produção NTC
2. PBJ Metal Ta
3. Integrado Metal Ta

6. Produção de TR e Zr

1. Concentrado Re & Zr
2. Oxido RE
3. Produção Metal Ta

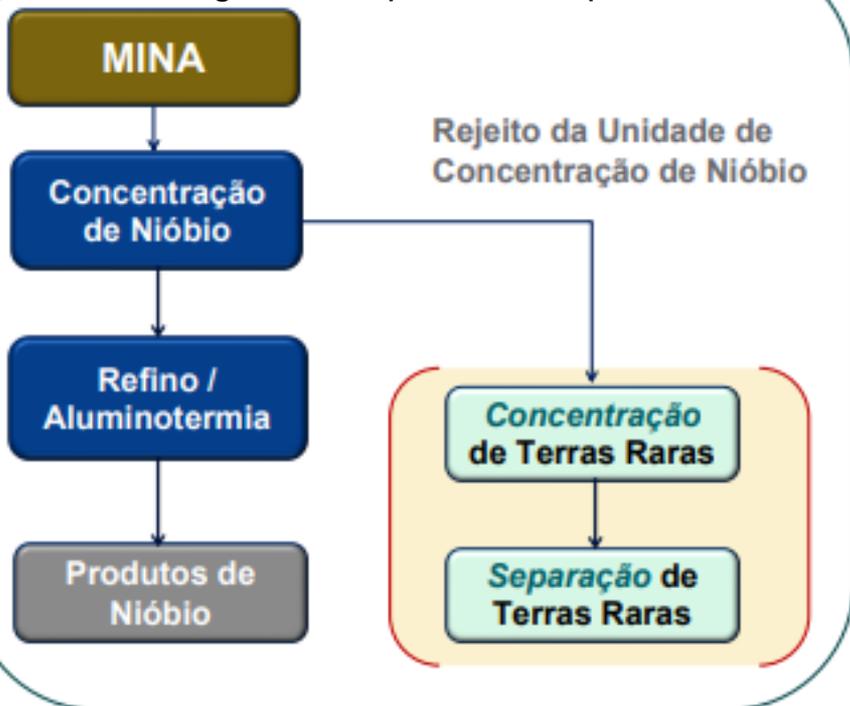
Fluxograma simplificado do processo



Extração de TR como Subproduto

CBMM

Fluxograma simplificado do processo



Mineral	%
Bariopirocloro	4
Limonita, goetita	36
Barita	20
Magnetita	16
Gorceixita	6
Monazita	4
Ilmenita	5
Quartzo	4
Outros	5
Total	100



Concentração
 Capacidade: 1.000 t/a
 Sulfato Duplo de TR
 Hidróxido de TR



Separação
 Planta Piloto
 Extração por Solvente
 15-20 t/ano OTR
 3,0-3,5 t/ano NdPr

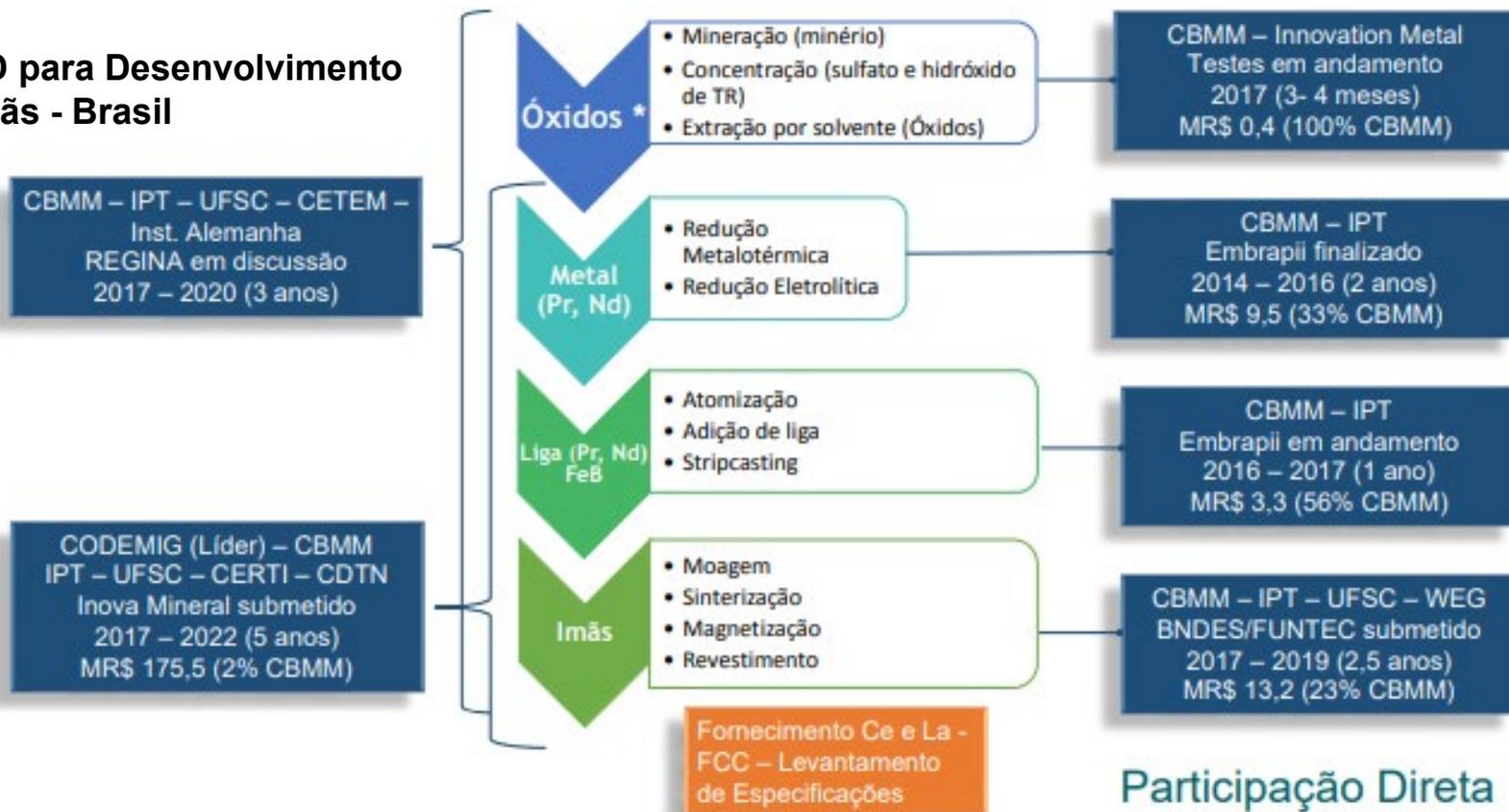




Extração de TR como Subproduto

CBMM

Projetos de P&D para Desenvolvimento da Cadeia de Imãs - Brasil

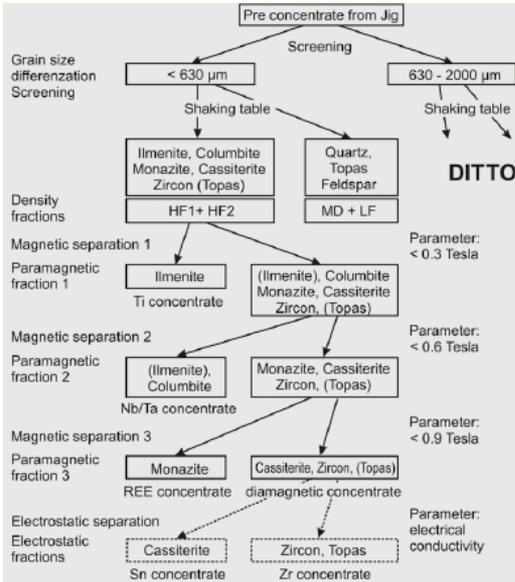




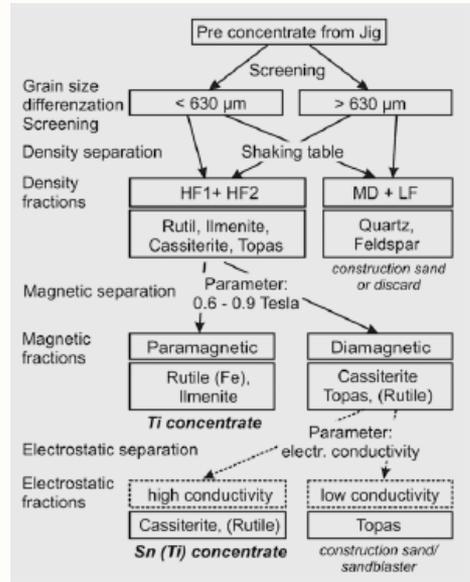
Extração de TR como Subproduto

Província Estanífera de Rondônia

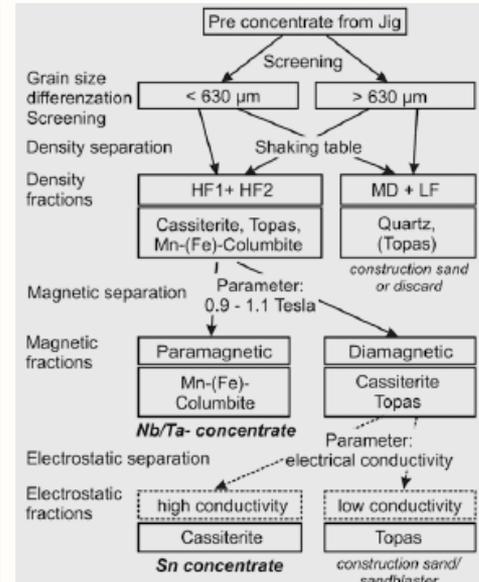
Massangana



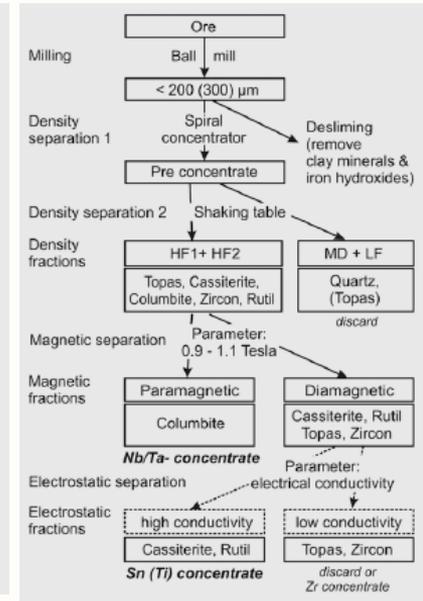
Bom Futuro



Cachoeirinha



Santa Bárbara





Extração de TR como Subproduto

Província Estanífera de Rondônia

Massangana

Cassiterita

Columbita

Ilmenita

Topázio

Zircão

Monazita

Bom Futuro

Cassiterita

Topázio

Rutilo

Obs. Columbita ocorre intercrescido com cassiterita e não pode ser separado

Cachoeirinha

Cassiterita

Columbita

Ilmenita

Zircão

Monazita

Santa Bárbara

Cassiterita

Columbita

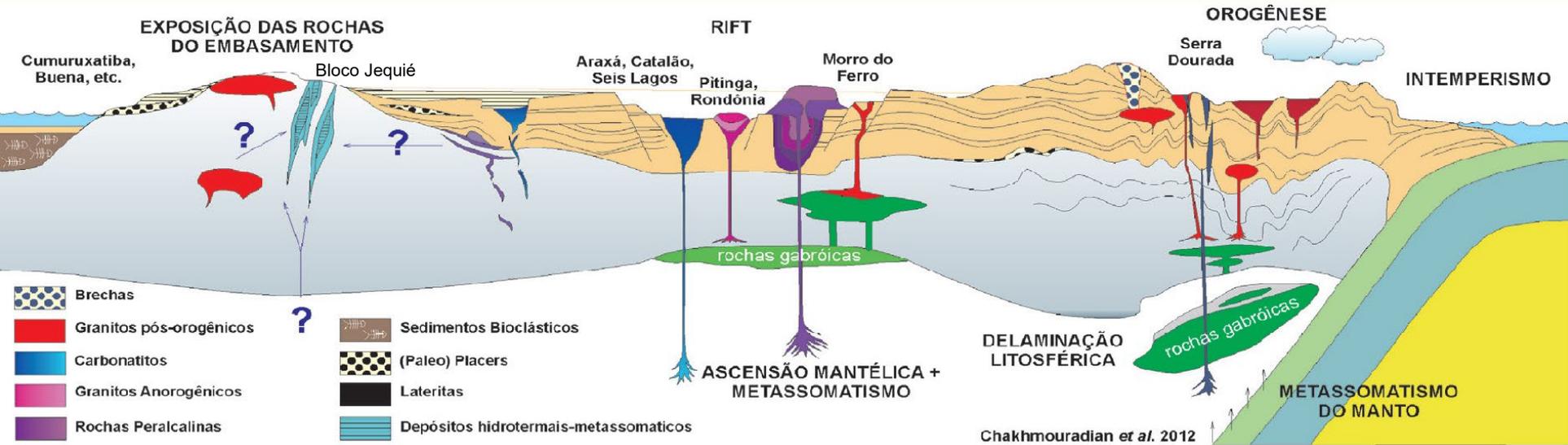
Zircão

Grau de liberação (fração 63 – 200 µm)

Obs. Na fração < 2mm não houve enriquecimento econômico devido ao intercrescimento dos minerais de interesse com hidróxidos de Fe e minerais argilosos.



Contexto Geológico



Takehara 2015 (modif. CHAKHMOURADIAN; WALL, 2012).

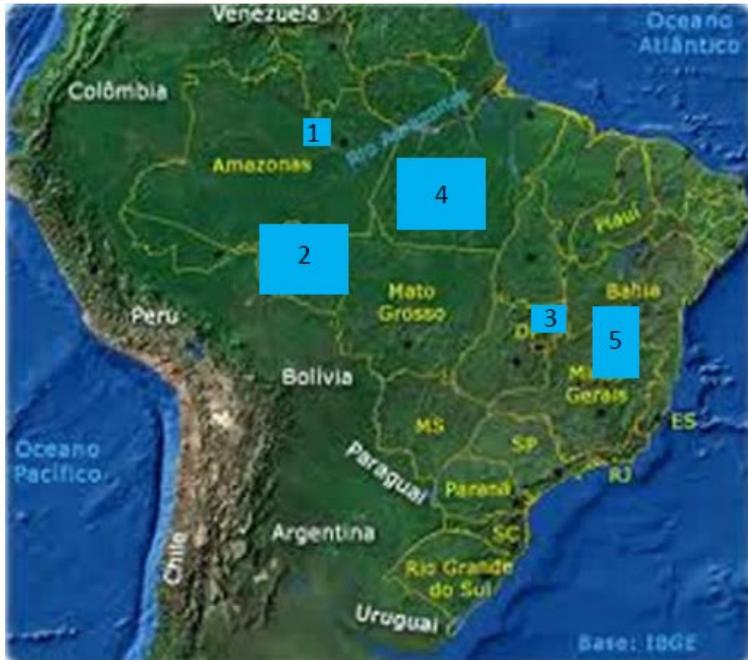


Reservas medidas e estimadas para TR em corpos alcalinos

Depósito	REE ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	Nb ₂ O ₅	Outros
Araxá (MG)	14,20 Mt @ 3,02% (CBMM)	210 Mt @ 10%	191 Mt @ 21,9% (cut-off 15%)	462 Mt @ 2,48%	51 Mt @ 7,26 BaSO ₄
	7,73 Mt @ 2,35% (CODEMIG)				
	6,30 Mt @ 5,01% (Cut-off 2%) (Mbac Fert.)				
Barra do Itapirapuã (SP)	2,4 Mt @ 1,29%				P, F e Pb
Catalão I (GO)	78,9 Mt @ 8,67%	250 Mt @ 10,48%	339,4 Mt @ >10%	19 Mt @ 1,8%	35,9 Mt @ 17% (vermiculita)
Catalão II (GO)	25 MT @ 0,98%	400 Mt @ 9,5%		13,5 Mt 1,35%	
Poços de Caldas (MG)	7 Mt @ 2,89%				26,8 mt U ₃ O ₈ , 25 mt MoO ₂ , e 172,4 mt ZrO ₃ , Th, Zn, Al
Seis Lagos (AM)	43,5 Mt @ 1,5%				Nb, P, Fe, Mn, Ti
Tapira (MG)	? Mt @ 1 a 10%	744 Mt @ 8,35% (cut-off 5%)	191 Mt @ 21,9%	113 Mt @ 0,9%	
Maicuru (PA)	?	200 Mt @ 15%	5 Bt @ 20%		
Salitre (MG)	?	852 Mt @ 10,7%	694,3 Mt @ 17,5%	166 Mt @ 0,73%	
Serra Negra (MG)	?	228 Mt @ 10%	200 Mt @ 27,68%		

Reservas medidas e estimadas para TR em corpos graníticos

Depósito	REE ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	Outros
Pitinga (AM)	2Mt @ 1% Y	175 Mt @ 0,02 %	Criolita 9Mt @ 31,9% Na ₃ AlF ₆
Serra Verde (GO)	379Mt @ 0,12%		



O potencial brasileiro neste tipo de depósito poderá ser muito maior.

1.Pitinga

2.Província Estanífera de Rondônia

3.Província Estanífera de Goiás

4.Sudoeste do Pará e Carajás

5.Granitos associados à Evolução do Supergrupo Espinhaço

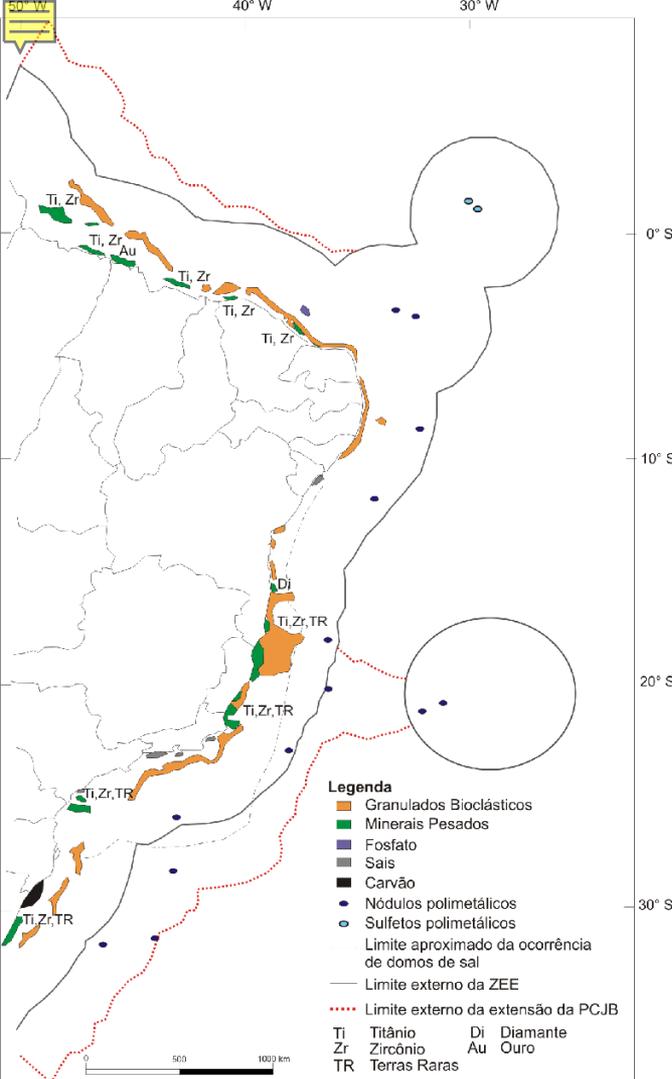
Potencial Brasileiro

Recurso estimado para monazita em placers

O Brasil possui reservas conhecidas de ~ 140,21 mil toneladas, associadas com minerais pesados (ilmenita, zircão, rutilo, principalmente).

Monazita foi explorada até a década de 1990 na Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, cujas reservas de monazita eram distribuídas:

- RJ – 76%
- BA – 15%
- ES – 9%





Desafios

Incentivos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de Terras Raras

- **INCT TERRAS RARAS - Processamento e Aplicações de Ímãs de Terras-Raras para Indústria de Alta Tecnologia (PATRIA)** - <https://inct-terras-raras.prp.usp.br/in%C3%ADcio>
- **Projeto REGINA** (*Rare Earth Global Industry and New Application*) – *Cooperação entre Brasil e Alemanha* - <https://www.gov.br/cetem/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-financiados-por-agencias-e-ou-recursos-publicos/em-curso/projeto-regina-rare-earth-global-industry-and-new-applications>
- **Criação do Laboratório - Fábrica Ímãs de Terras Raras (LabFabITR)** - <https://labfabitr.citsenaiitr.com.br/>





Considerações Finais

- O Brasil tem se destacado como um importante *player* no mercado de Terras Raras visto pelos inúmeros projetos mineiros em andamento.
- Alguns depósitos de outros bens minerais já tem reserva e/ou recurso estimado de TR como subproduto.
- O país já conta com algumas iniciativas de reaproveitamento de rejeitos para extração de TR
- O estudo de processamento de recursos alternativos não convencionais, como rejeitos de minas ou resíduos industriais, tem sido impulsionados devido ao risco de fornecimento de ETR e pelos interesses ambientais e ganhos econômicos, fortalecendo o modelo de economia circular.
 - Resíduos de mineração podem ser os fluxos mais adequados e rentáveis, devido a quantidade desses resíduos e pelas suas médias de REE (Comissão Europeia, 2014).
 - É observada uma diversificação nos estudos de métodos de extração de TR.
 - Outra fonte potencial de TR seria a mineração urbana, reciclagem de produtos eletrônicos, forneceria TR mais ecológico e com impacto socioeconômico positivo





OBRIGADA

Contato: lucy.chemale@sgb.gov.br



SERVIÇO
GEOLÓGICO
DO BRASIL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

