

N° 180040

Terras raras: desafios para o Brasil e para o mundo.

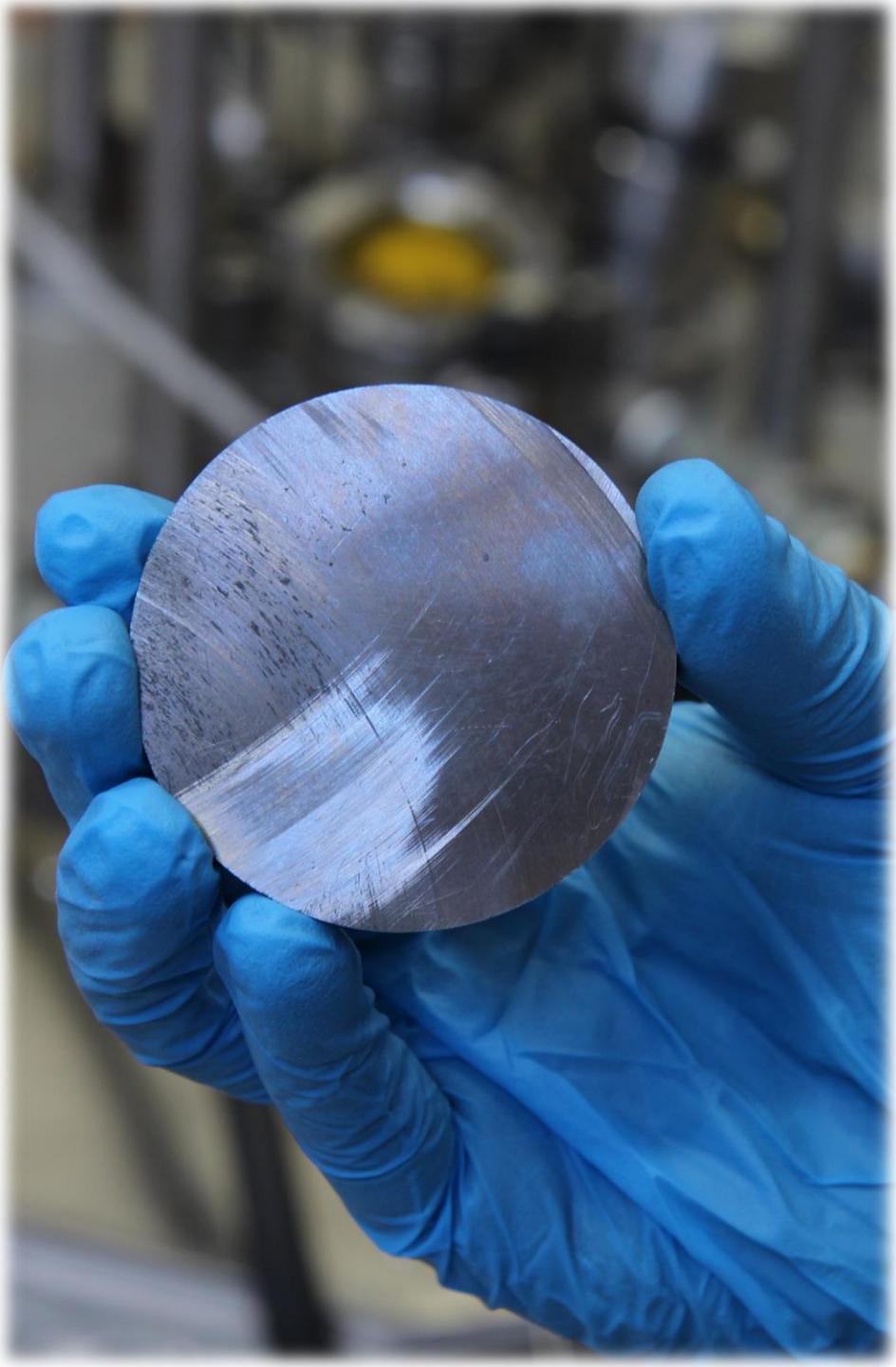
André Luiz Nunis da Silva

*Palestra apresentada no
ENCONTRO DO GIE DE
MINERAÇÃO DA AHK, 2.,
2025, São Paulo. 45 slides.*

“Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



TERRAS RARAS: DESAFIOS PARA O BRASIL E PARA O MUNDO

Laboratório de Processos Químicos
2º encontro do GIE de Mineração da AHK São Paulo
(02.12.25)

TERRAS RARAS: O QUE SÃO?



Léo Ramos Chaves/Pesquisa FAPESP – foto tirada no IPT



O QUE SÃO ELEMENTOS DE TERRAS RARAS?

17 Elementos



Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum.

Nota: Os números de subgrupo 1-18 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latinos desses números.

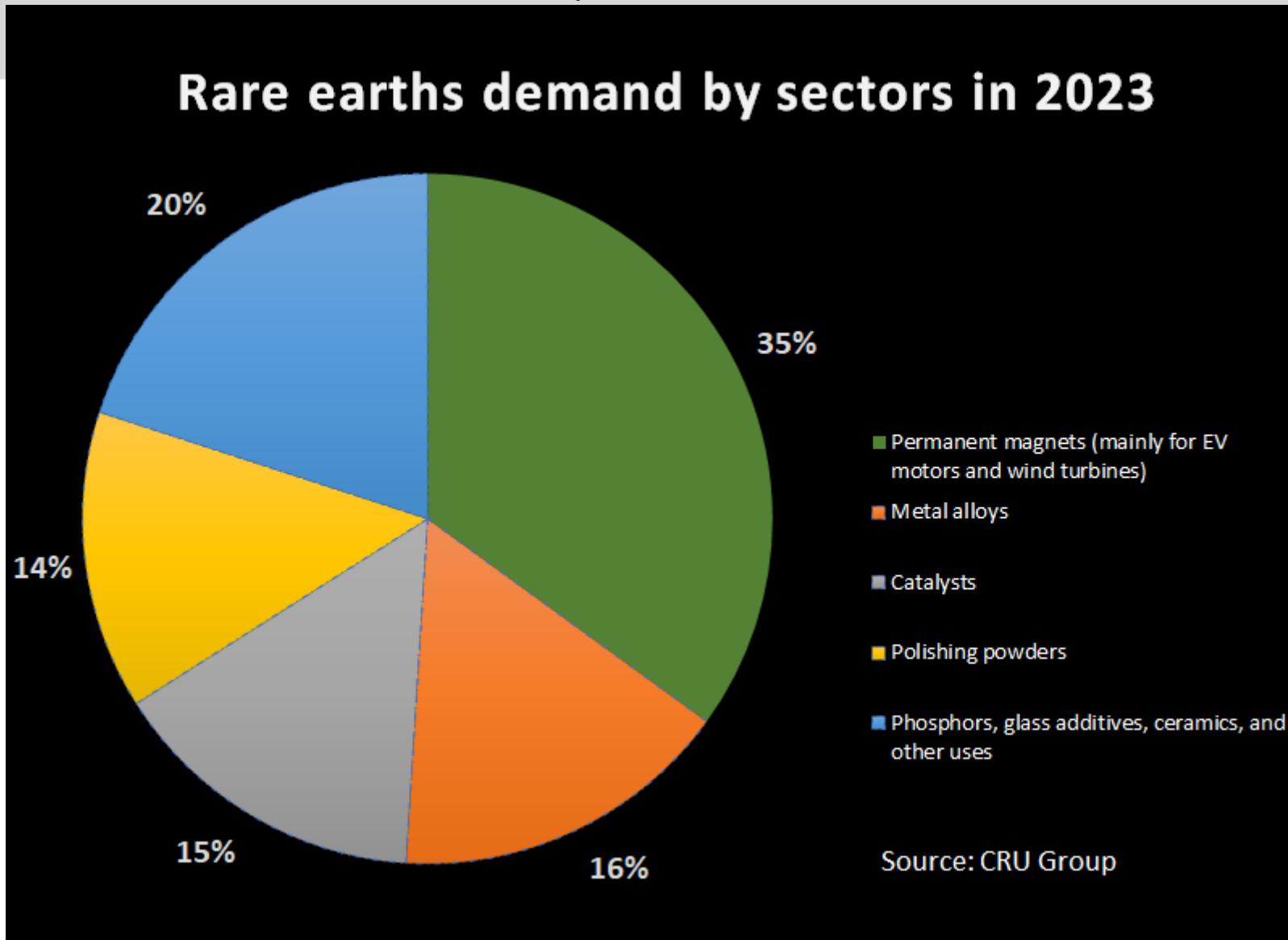
57	La	Lantânia 138.9055
58	Ce	Cério 140.116
59	Pr	Praseodímio 140.90765
60	Nd	Neodímio 144.24
61	Pm	Promédio (145)
62	Sm	Samário 150.36
63	Eu	Europio 151.964
64	Gd	Gadolinio 157.25
65	Tb	Terbio 158.92534
66	Dy	Disprosio 162.500
67	Ho	Holorio 164.93032
68	Er	Erbio 167.259
69	Tm	Túlio 168.93421
70	Yb	Íterbio 173.04
71	Lu	Lutécio 174.967
89	Ac	Actínio (227)
90	Th	Tório 232.0381
91	Pa	Protadímio 231.03588
92	U	Urânia 238.02891
93	Np	Netúnio (237)
94	Pu	Plutônio (244)
95	Am	Amerício (243)
96	Cm	Cúrio (247)
97	Bk	Berquelio (247)
98	Cf	Califórnia (251)
99	Es	Einstênia (252)
100	Fm	Férmino (257)
101	Md	Mendelévio (258)
102	No	Nobelíio (259)
103	Lr	Laurêncio (262)

TERRAS RARAS: PARA QUE SERVEM

Segmento de Aplicação	Elementos Chave	Exemplos de Uso	Importância para a Transição Energética
Ímãs Permanentes	Nd, Pr, Dy, Tb	VEs, Turbinas Eólicas, Robótica, Equipamentos de Defesa	Crescimento mais alto, vital para eletrificação.
Catalisadores	Ce, La	Conversores Automotivos, Processos Industriais	Alta demanda, foco na eficiência de combustíveis.
Polimento de Precisão	Ce	Telas, Lentes Ópticas	Demanda estável em setores de alta tecnologia.
Metalurgia e Ligas	La, Ce, Nd	Aditivos em ligas de aço e superligas	Essencial para infraestrutura e durabilidade.
Fósforos/Cerâmicos	Eu, Tb, Y	Iluminação LED, Telas de Display	Importante para eficiência luminosa.



TERRAS RARAS: PARA QUE SERVEM

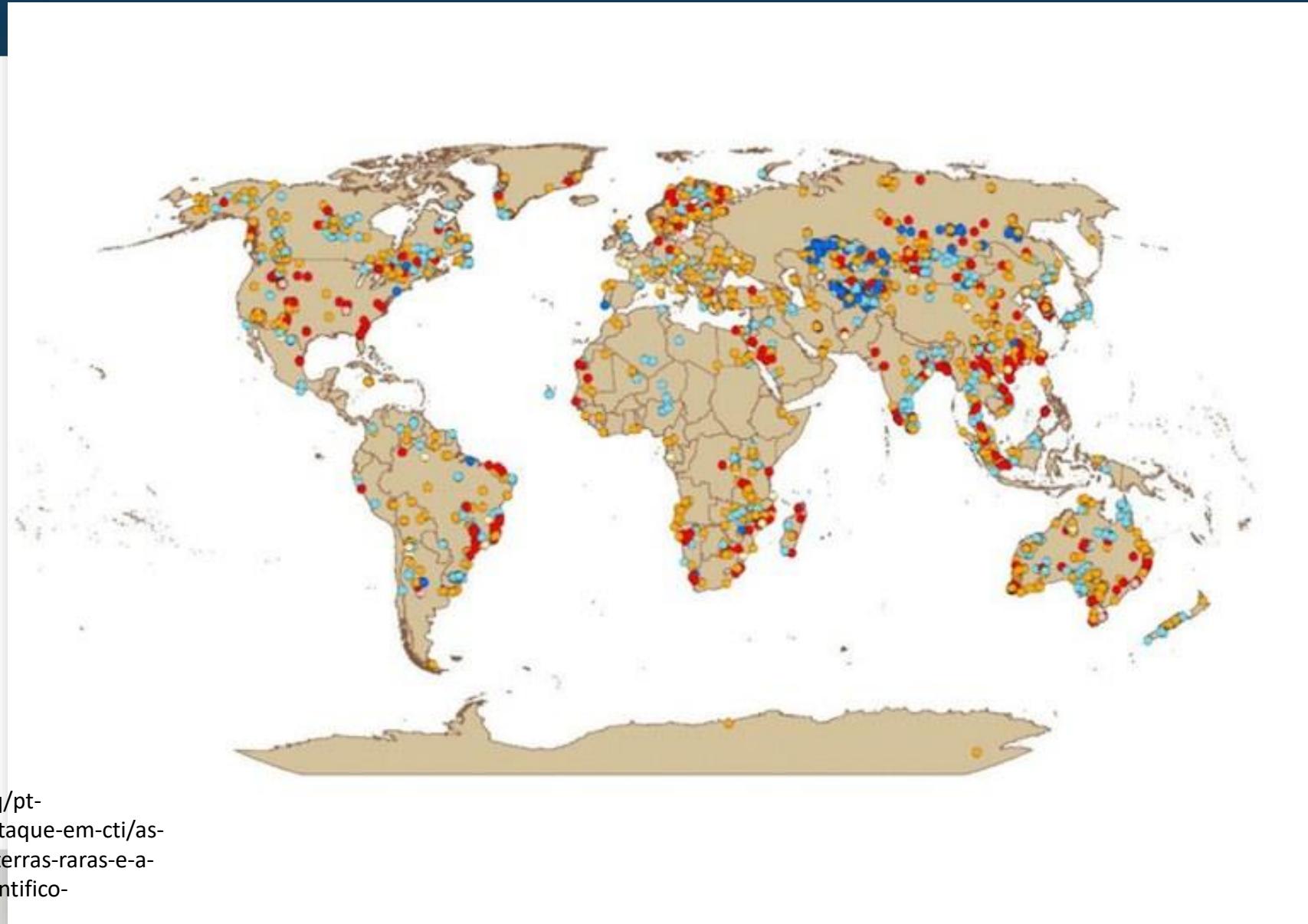


TERRAS RARAS: PARA QUE SERVEM?

- Ímãs de Terras Raras são utilizados para motores e geradores elétricos



TERRAS RARAS: ONDE ENCONTRAR?



<https://www.gov.br/cnpq/pt-br/assuntos/noticias/destaque-em-cti/as-varias-faces-da-questao-terrás-raras-e-a-corrida-pelo-dominio-científico-tecnológico>

TERRAS RARAS: QUEM TEM E QUEM PRODUZ

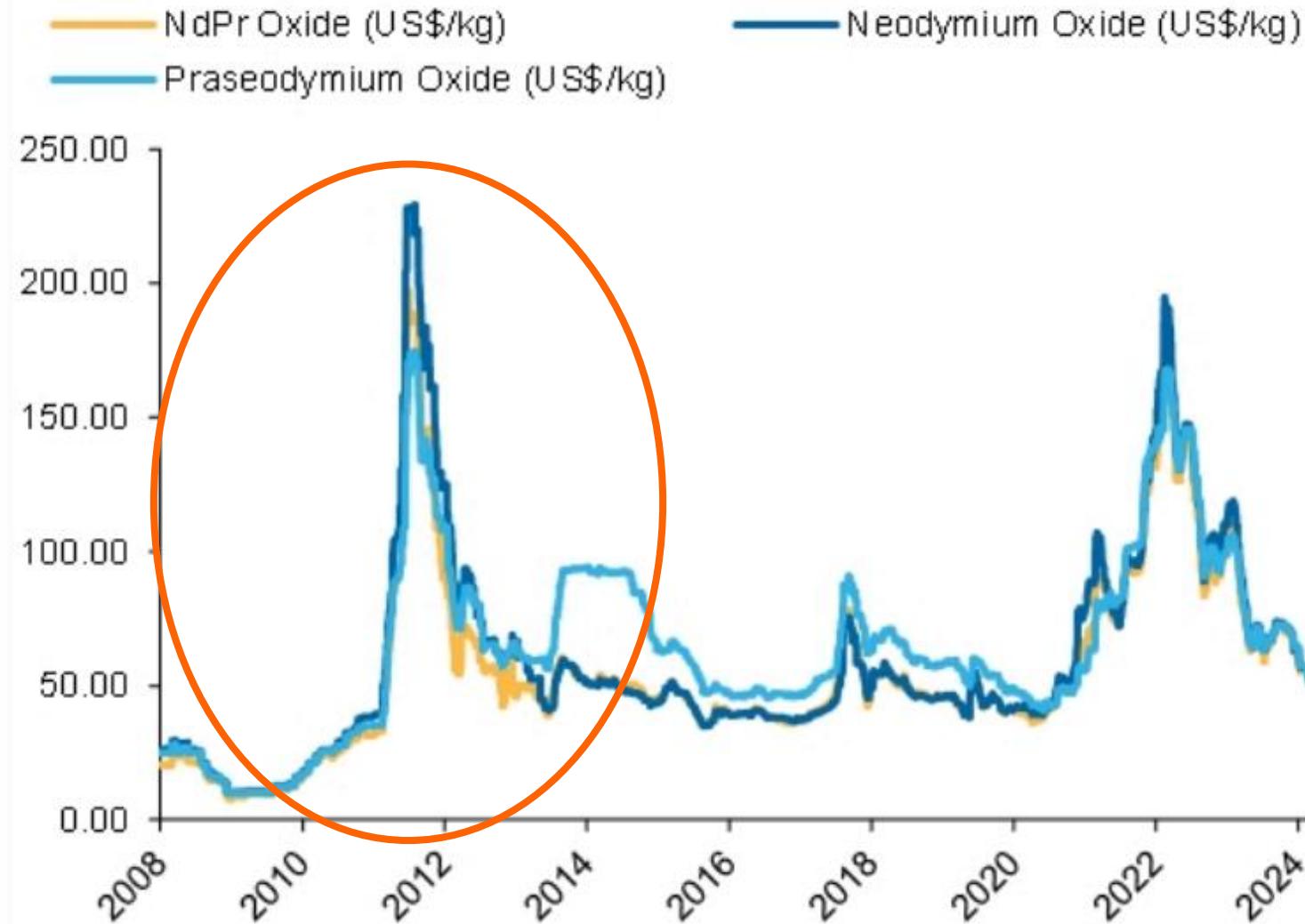
Reservas em 2024: 90 Mt de OTR		Produção em 2024: 390 kt de OTR		Refino & Ímãs	
1º China		1º China		Refino	
44 Mt [49%]		270 kt [69%]		1º China	> 85%
2º Brasil	21 Mt [23%]	2º EUA	45 kt [12%]	2º Malásia	> 5%
3º Índia	6,9 Mt [7,7%]	3º Burma	31 kt [7,9%]	3º Estônia	> 3%
4º Austrália	5,7 Mt [6,3%]	4º Austrália	13 kt [3,3%]	Ímãs ETR: 200 kt	
5º Rússia	3,8 Mt [4,2%]	5º Nigéria	13 kt [3,3%]	1º China	> 90%
6º Vietnã	3,5 Mt [3,9%]	6º Tailândia	13 kt [3,3%]	2º Japão	> 5%
7º EUA	1,9 Mt [2,1%]	7º Índia	2,9 kt [0,74%]	3º UE	~ 1%
8º Groelândia	1,5 Mt [1,7%]	8º Rússia	2,5 kt [0,64%]		
Outros	1,7 Mt [1,9%]	Outros	~0 kt		



<https://www.brasilmineral.com.br/noticias/brasil-e-o segundo-em-reservas-de-terrás-raras-no-mundo>

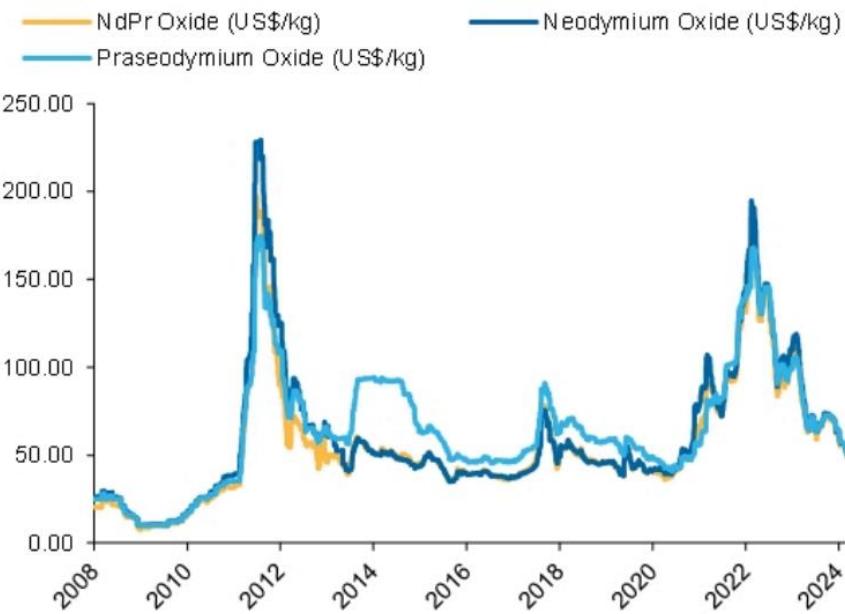
TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21



TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21: 2010s



Austrália
Lynas
Rare Earths

Operou sob
subsídios

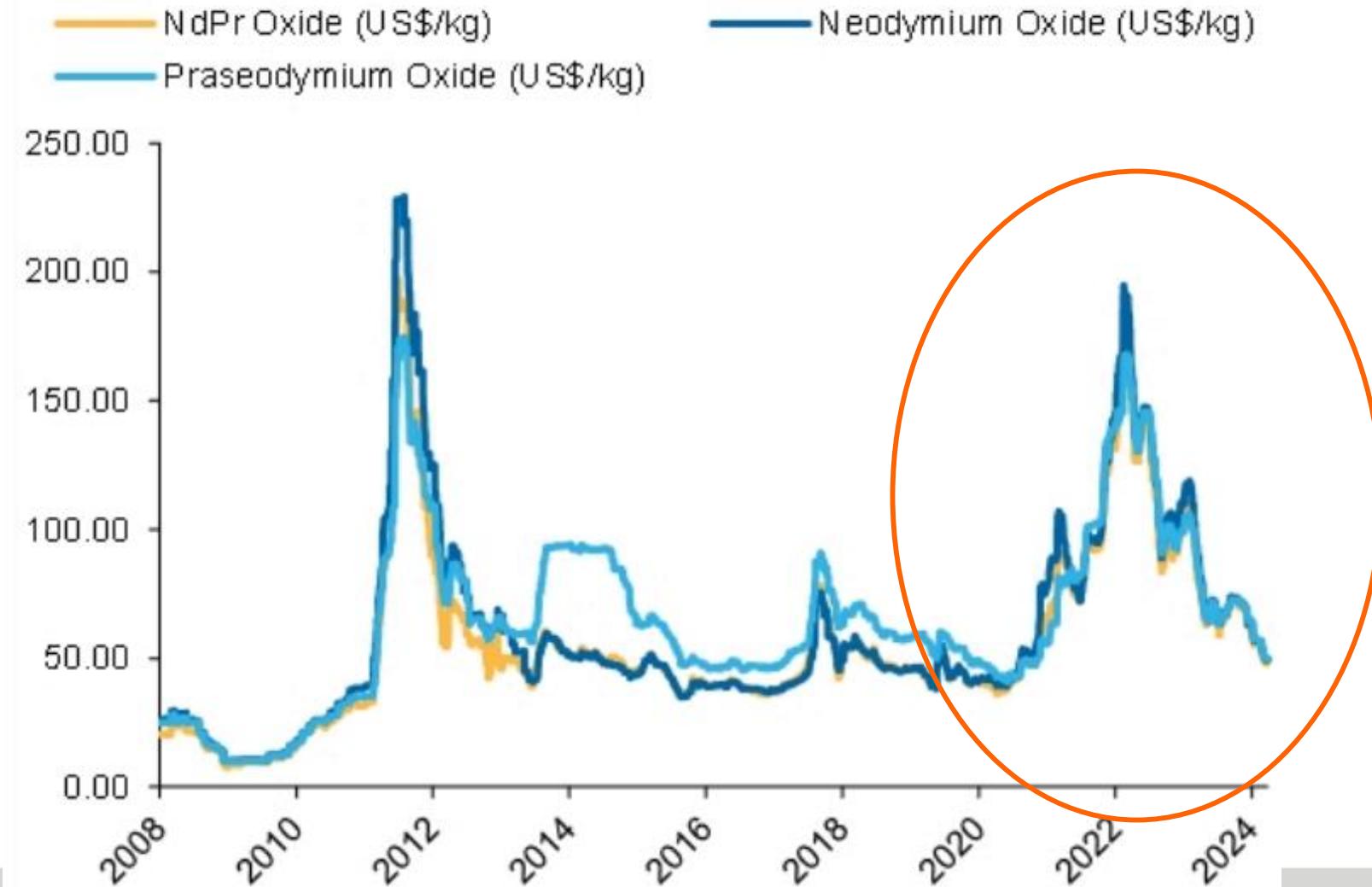
EUA
Molycorp

Faliu em 2015

Brasil
CBmm

TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21: 2020s



<https://www.marketindex.com.au/news/3-asx-rare-earths-stocks-to-watch-as-prices-finally-show-signs-of-02/>

TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21: 2020s

WORLD • ECONOMY

European industry caught in crossfire of China's rare earths war

Western technology sectors, including automotive, defense, aerospace, energy and chemicals, have raised the alarm over Beijing's

By Bastien Bonnefous, S
Published on October 27,



MARKETS

BUSINESS

INVESTING

TECH

POLITICS

VIDEO

INVESTING CLUB

JOIN

PRO

JOIN

LIVESTREAM

ASIA POLITICS

A lesson for the West? Japan was better prepared than most for China's rare-earth mineral squeeze



TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21: 2020s

The image is a collage of news snippets from various media outlets. At the top left is a snippet from Washington Technology with the headline "Pentagon to become rare earths company's". To its right is a snippet from ABC News with the headline "US and China seek to strike a deal over rare earths, tariffs, soybeans". Below these is a snippet from CNN Money with the headline "Diplomata dos EUA se reúne com mineradoras no Brasil por terras raras". At the bottom left is a snippet from CNN Brasil with the headline "United For Securing t Rare Earths". The CNN Brasil logo includes "BRASIL" and "MONEY". The bottom right corner features the São Paulo Government logo.

Washington Technology For the market disruptors

OPINION PODCASTS RANKINGS EVENTS INSIGHTS

TRENDING: THE FIRST 100 DAYS | DOGE | M&A TRENDS | TOP 100 NEWS

A

abcNEWS Live Video Shows Shop

Pentagon to become rare earths company's

US and China seek to strike a deal over rare earths, tariffs, soybeans

CNN MONEY

Diplomata dos EUA se reúne com mineradoras no Brasil por terras raras

Informação foi confirmada ao CNN Money pelo encarregado de Negócios dos Estados Unidos no Brasil, Gabriel Escobar

Gabriel Garcia, da CNN Brasil*, Salvador

28/10/25 às 11:21 | Atualizado 28/10/25 às 13:00

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO

TERRAS RARAS: O NOVO PETRÓLEO

■ Século 21: 2020s

The screenshot shows a news article from the website **BRASIL mineral**. The header includes the site's name and a navigation bar with links for **NOTÍCIAS** and **ASS**. The main content area features a red banner with the text **I TERRAS RARAS**. Below the banner, the headline reads **Missão japonesa visita Goiás para avaliar o potencial de investimentos**, dated 01/08/2025. A brief summary in Portuguese follows.

I TERRAS RARAS

Missão japonesa visita Goiás para avaliar o potencial de investimentos

01/08/2025

Missão japonesa visitará Goiás em agosto para avaliar o potencial de investimentos e diversificar a dependência da China e impulsionar o desenvolvimento tecnológico no estado.

The screenshot shows a news article from the website **Valor INTERNATIONAL Business**. The headline is **Australian mining companies see Brazil as alternative to China in rare earths**. A subtext below the headline states: **Viridis Mining and Meteoric Resources plan to start operations by 2028**.

Search

INTERNATIONAL Valor | Business

Australian mining companies see Brazil as alternative to China in rare earths

Viridis Mining and Meteoric Resources plan to start operations by 2028

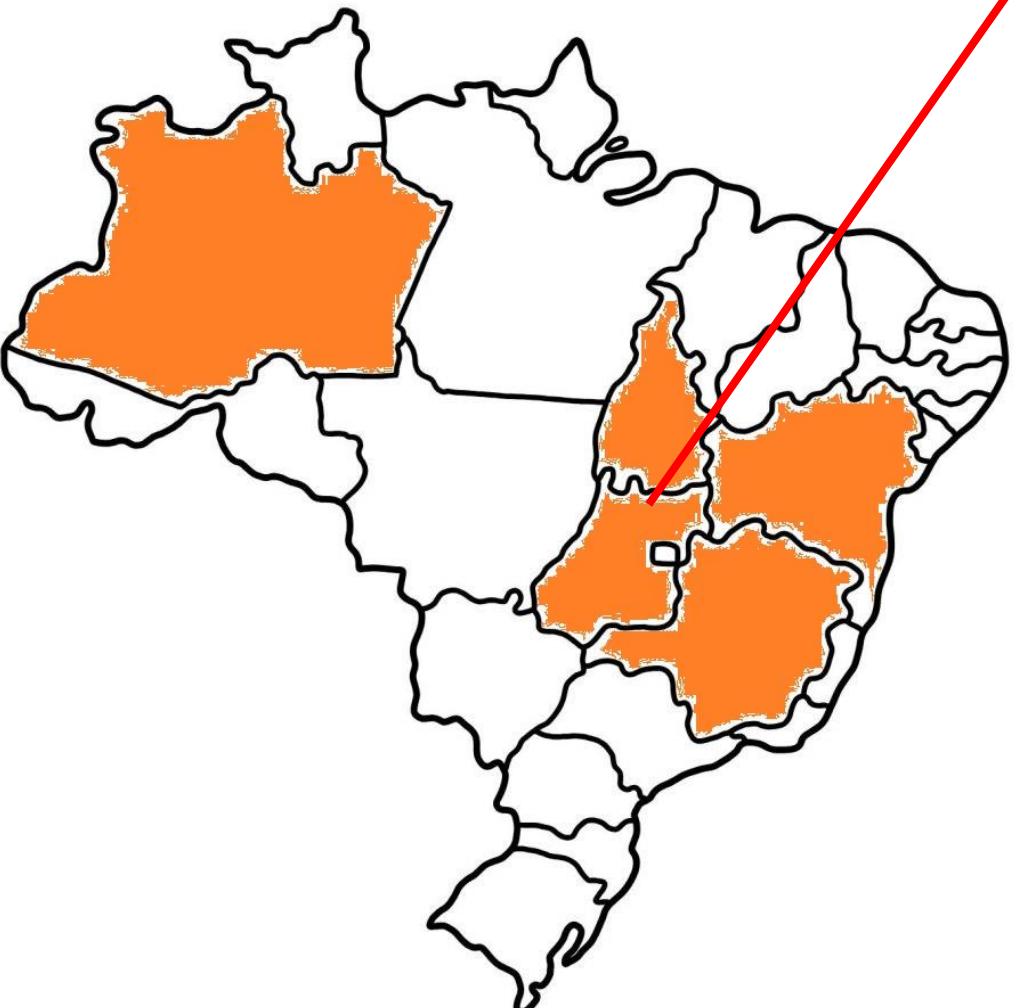


RESERVAS BRASILEIRAS



Cidade / Município	Estado	Projeto / Empresa	Tipo de depósito (alvo principal)	Principais REE (ou subproduto)
Minaçu	GO	Serra Verde – Serra Verde Pesquisa e Mineração	Argilas iônicas	Nd, Pr, possivelmente Dy/Tb
Poços de Caldas / Caldas	MG	Colossus – Viridis Mining & Minerals	Argilas iônicas (IAC)	Nd, Pr
Poços de Caldas / Caldas	MG	Caldeira – Meteoric Resources	Argilas iônicas (IAC)	Nd, Pr + MREO
Iporá	GO	PCH-Iporá – Appia Rare Earths & Uranium	Argilas iônicas	Nd, Pr
Prado / Caravelas / Alcobaça	BA	Bahia HMS – Energy Fuels	Areias pesadas (monazita + Ti/Zr)	LREE (monazita)
Itarantim	BA	Itarantim – IMC Rare Earths	Argilas de adsorção iônica sobre granitos alcalinos	Nd, Pr, possivelmente HREE
Tiros	MG	Tiros – Resouro Strategic Metals	Laterito / areias titaníferas com REE	Ti + REE
Araxá	MG	Araxá REE-Nb – St George Mining	Carbonatito (Nb + REE)	Nb + REE
Araxá	MG	CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração	Carbonatito / Nb + REE subproduto	REE como subproduto
Presidente Figueiredo (Pitinga)	AM	Pitinga – Mineração Taboca	Granitos peralcalinos / pegmatitos (Sn/Nb/Ta + REE)	HREEs (Dy, Tb)
Nova Roma / Aparecida de Goiânia	GO	Carina – Aclara Resources	Argilas iônicas (ionic-clay)	HREEs – Dy, Tb (e outros REE)
Sul da Bahia (Monte Alto / Sulista / Pelé)	BA	Rocha da Rocha – Brazilian Rare Earths	Argilas iônicas / território de alto teor REE	Nd, Pr, possivelmente HREE

RESERVAS BRASILEIRAS



Cidade / Município	Estado	Projeto / Empresa	Tipo de depósito (alvo principal)	Principais REE (ou subproduto)
Minaçu	GO	Serra Verde – Serra Verde Pesquisa e Mineração	Argilas iônicas	Nd, Pr, possivelmente Dy/Tb
Poços de Caldas / Caldas	MG	Colacous – Viridio Mining & Minerals	Argilas iônicas (IAC)	Nd, Pr
Poços de Caldas / Caldas	MG	Caldeira – Meteoric Resources	Argilas iônicas (IAC)	Nd, Pr + MREO
Iporá	GO	PCH-Iporá – Appia Rare Earths & Uranium	Argilas iônicas	Nd, Pr
Prado / Caravelas / Alcobaça	BA	Bahia HMS – Energy Fuels	Areias pesadas (monazita + Ti/Zr)	LREE (monazita)
Itarantim	BA	Itarantim – IMC Rare Earths	Argilas de adsorção iônica sobre granitos alcalinos	Nd, Pr, possivelmente HREE
Tiros	MG	Tiros – Resouro Strategic Metals	Laterito / areias titaníferas com REE	Ti + REE
Araxá	MG	Araxá REE-Nb – St George Mining	Carbonatito (Nb + REE)	Nb + REE
Araxá	MG	CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração	Carbonatito / Nb + REE subproduto	REE como subproduto
Presidente Figueiredo (Pitinga)	AM	Pitinga – Mineração Taboca	Granitos peralcalinos / pegmatitos (Sn/Nb/Ta + REE)	HREEs (Dy, Tb)
Nova Roma / Aparecida de Goiânia	GO	Carina – Aclara Resources	Argilas iônicas (ionic-clay)	HREEs – Dy, Tb (e outros REE)
Sul da Bahia (Monte Alto / Sulista / Pelé)	BA	Rocha da Rocha – Brazilian Rare Earths	Argilas iônicas / território de alto teor REE	Nd, Pr, possivelmente HREE

TERRAS RARAS: TIPOS DE DEPÓSITOS

Tipo de depósito	Características geológicas e mineralógicas	Vantagens	Desvantagens
Argilas iônicas (IAC – Ion-Adsorption Clays)	<p>Argilas lateríticas formadas pela lixiviação de granitos ou rochas alcalinas ricas em REE. Adsorvidos nas superfícies de argilominerais (caulinita, haloisita, ilita, etc.), ligados por forças iônicas fracas ($\equiv\text{Si}-\text{O}^--\text{REE}^{3+}$).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Extração simples, via lixiviação com sais amônio ou magnésio (sem necessidade de moagem pesada). - Processos hidrometalúrgicos diretos (sem fusão ou ataque ácido intenso).- 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixas concentrações (0,05–0,2% REO) → grandes volumes de material. - Recuperação incompleta (60–80%)
Rochas (carbonatitos, granitos, alcalinas, pegmatitos, etc.)	<p>Minerais portadores cristalinos (bastnasita, monazita, xenotima, parisita, loparita). Geralmente associados a Nb, Th, U, P, Fe, Ti.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Altos teores de REO (1–10% ou mais). - Depósitos volumosos, contínuos e economicamente estáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Moagem e flotação complexas (difícil liberação mineral). - Presença de Th e U - Necessidade de rota combinada (piro + hidro), alto custo de CAPEX/OPEX.-
Rejeitos de mineração de outros elementos (Sn, Nb, Ti, Fe, fosfatos etc.)	<p>Subprodutos ou rejeitos de minas ativas (ex.: Pitinga-AM, Araxá-MG, Catalão-GO). Contêm REE em minerais acessórios (monazita, xenotima, allanita, euxenita).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aproveitamento de resíduos existentes (baixo custo de lavra e infraestrutura já disponível). - Menor impacto ambiental incremental. 	<ul style="list-style-type: none"> - Teores muito baixos (ppm-níveis). - Complexidade mineralógica e dispersão dos REE.



TERRAS RARAS

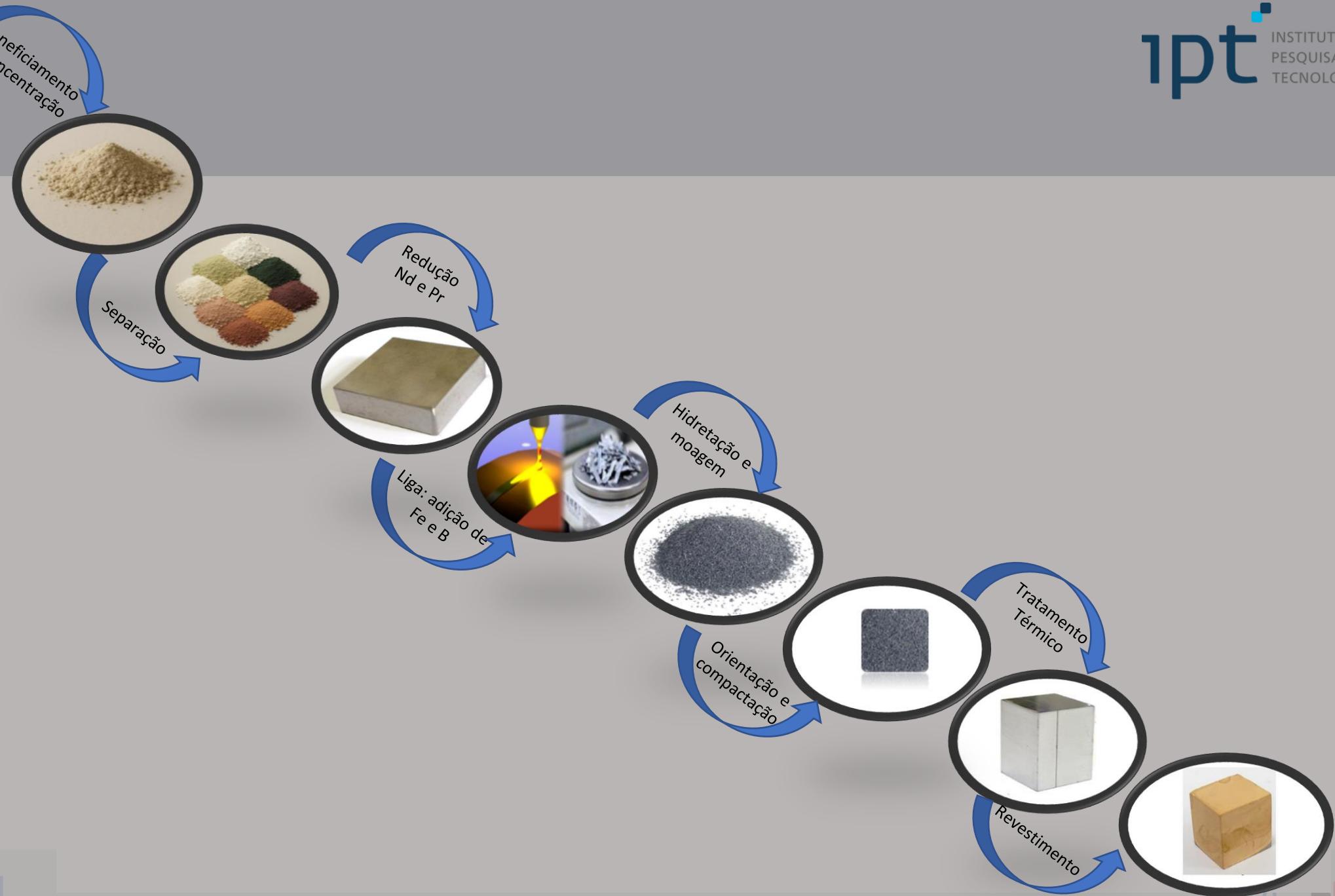
- O Brasil está preparado para ser uma alternativa à China?

Vamos vender os concentrados ou os produtos industrializados?





Mina



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

■ **Projetos Brasileiros: Século 20**

.

1950s – Brasil processava monazita interessado em U e TH - USINA SANTO AMARO (USAM) – Orquimia

!962 – Estatizada – renomeada Nuclemon (1975)

1994 – Renomeada INDUSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS (INB)

2004 – O país deixa de exportar Terras Raras

O Brasil dominava as etapas de separação, mas isso se perdeu



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

■ **Projetos Brasileiros: Século 20**

.

1950s – Brasil processava monazita interessado em U e TH - USINA SANTO AMARO (USAM) – Orquimia

!962 – Estatizada – renomeada Nuclemon (1975)

1994 – Renomeada INDUSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS (INB)

2004 – O país deixa de exportar Terras Raras

O Brasil dominava as etapas de separação, mas isso se perdeu

Para as etapas de produção de ligas:



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

■ **Projetos Brasileiros: Século 21**

2014 - 2018

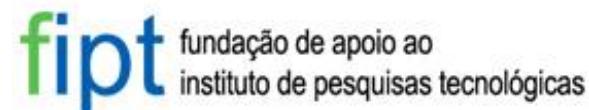
- Desenvolvimento da redução do óxido de TR em metais de TR
- Produção de ligas de (Nd,Pr)FeB

Executora

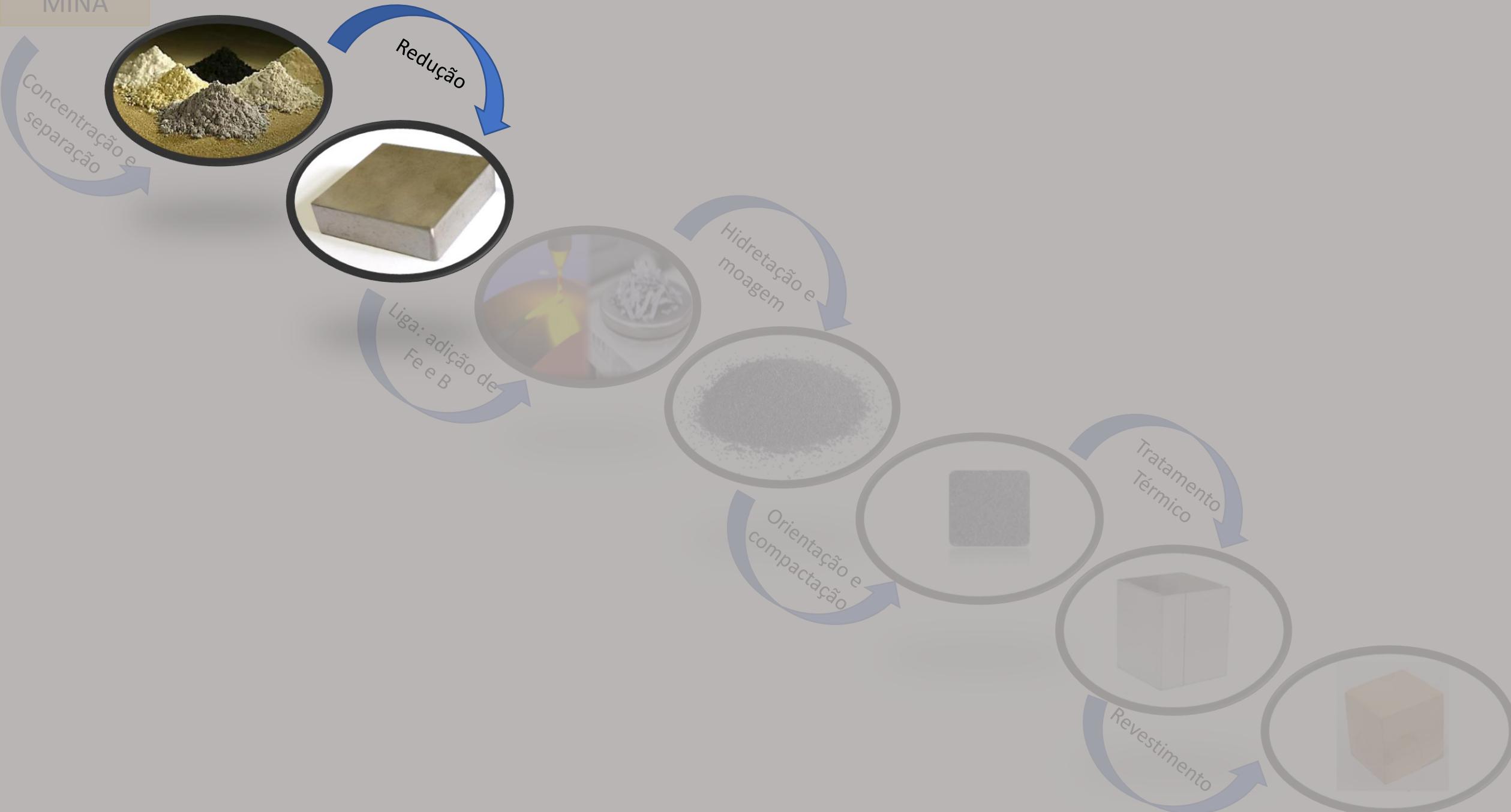


2019 - 2025

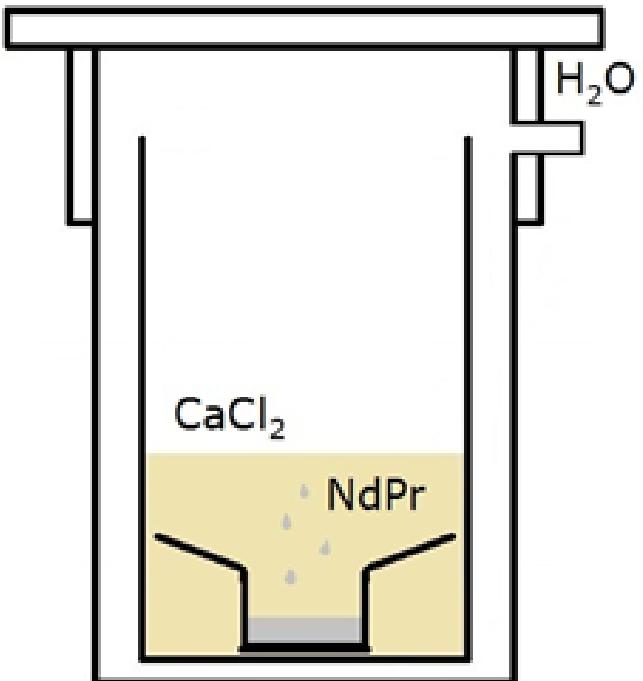
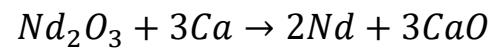
Financiamento



MINA



Redução metalotérmica



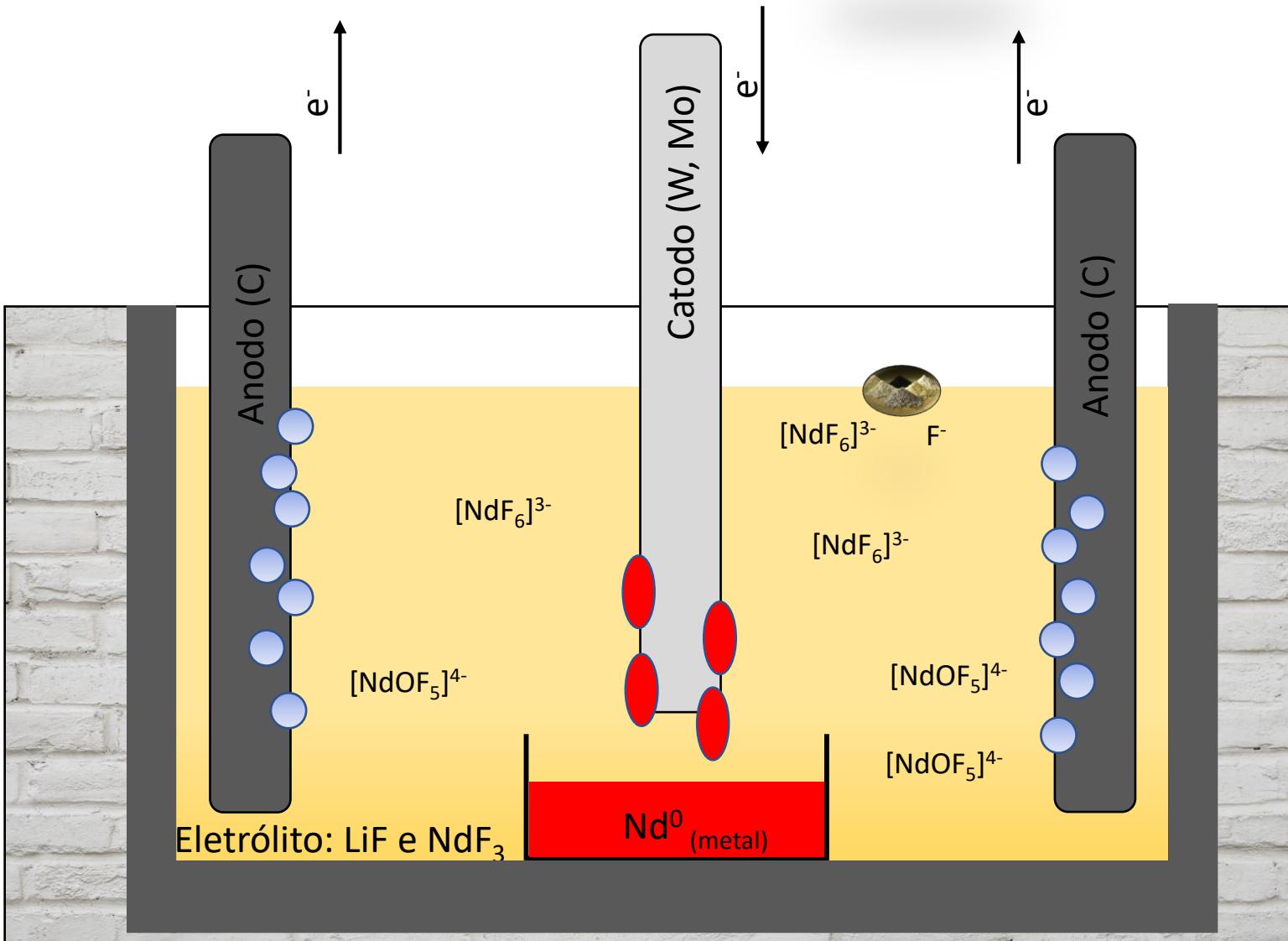
Element	% weight
Al	0,16
Si	0,08
Mg	0,37
Ca	0,77
Pr	49,5
Nd	49,1
REE	0,02



Eletrólise em sais fundidos

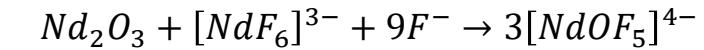


Exemplo: Nd_2O_3

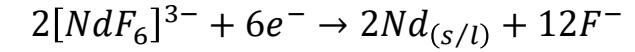


➤ Alimentação de Nd_2O_3

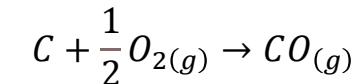
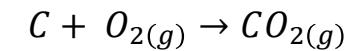
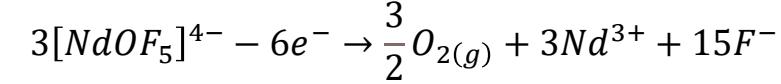
➤ Dissolução



➤ Redução no catodo



➤ Oxidação no anodo

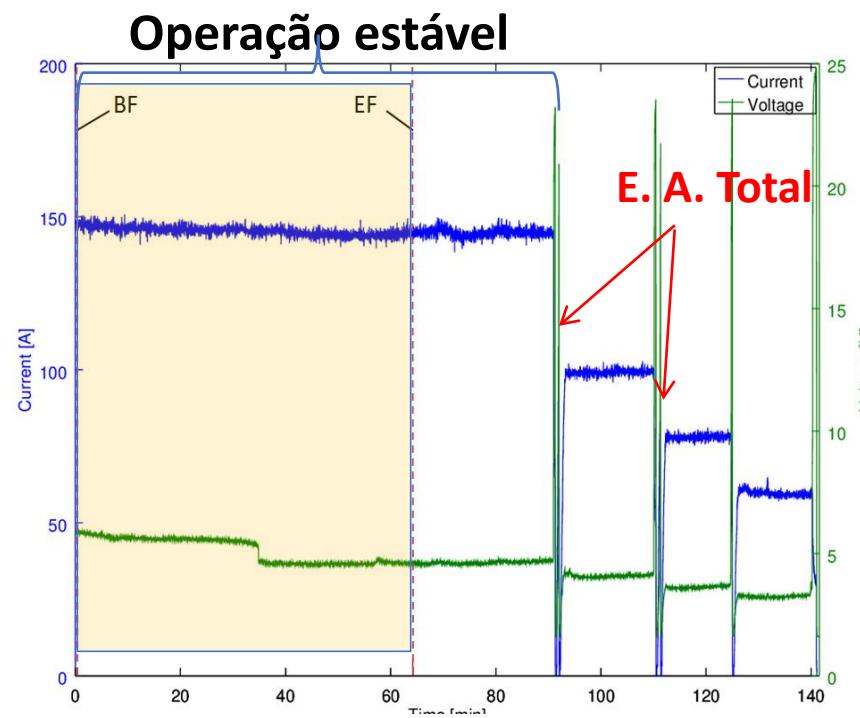




Eletrólise – Escala laboratorial

- Capacidade: 150 A
- Produção: 400 – 700 g
- T = 1030 – 1050 °C
- Sais: LiF – NdF₃ – PrF₃

Elementos	(% w)
Al	<0.001
Mg	<0.001
Ca	<0.001
Si	<0.05
Pr	25-40
Nd	60-75
O	0.002
C	0.05
REE	<0.1



Controle da alimentação = controle do processo eletrolítico

Scale up da redução eletroquímica

Projeto conceitual da célula piloto

Executivo e construção da célula

T: 1030 – 1100 °C

Corrente: 1000 – 1800 A

Tratamento e medição dos gases

Controle do processo

Minimizar efeitos anódicos



MINA



Redução



Liga: adição de
Fe e B



Hidratação e
moagem



Orientação e
compactação

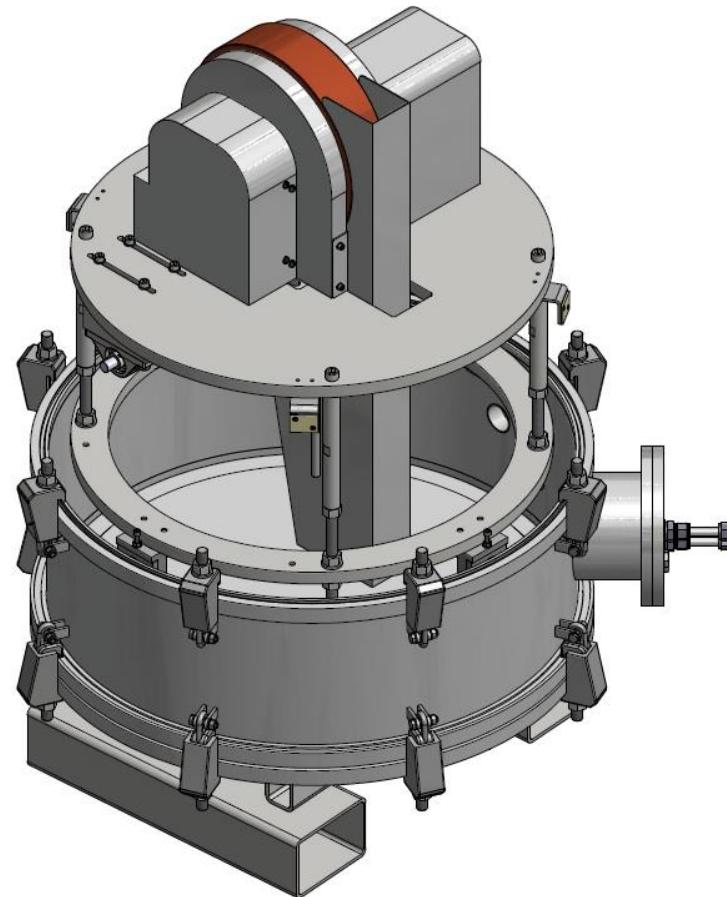


Tratamento
Térmico



Produção da liga (Nd,Pr)-Fe-B

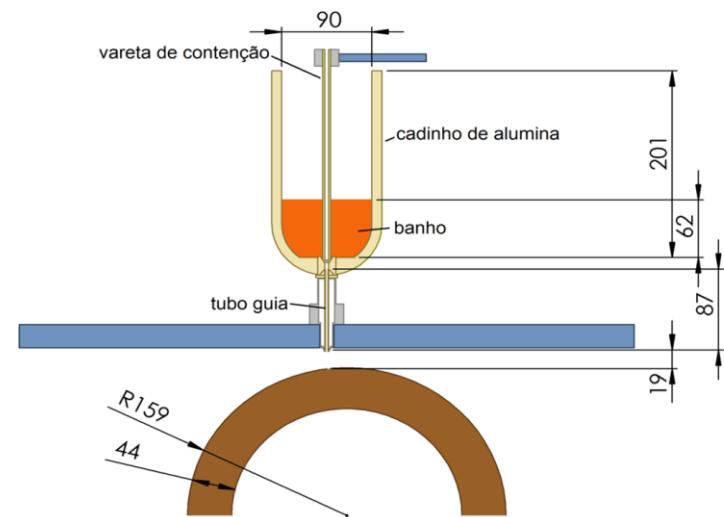
- Microestrutura formada em função da taxa de resfriamento
- Evitar a formação de ferro alfa
- Garantir a fração de fase rica e largura de braço de dendrita para moagem
- Produção de ligas para testes



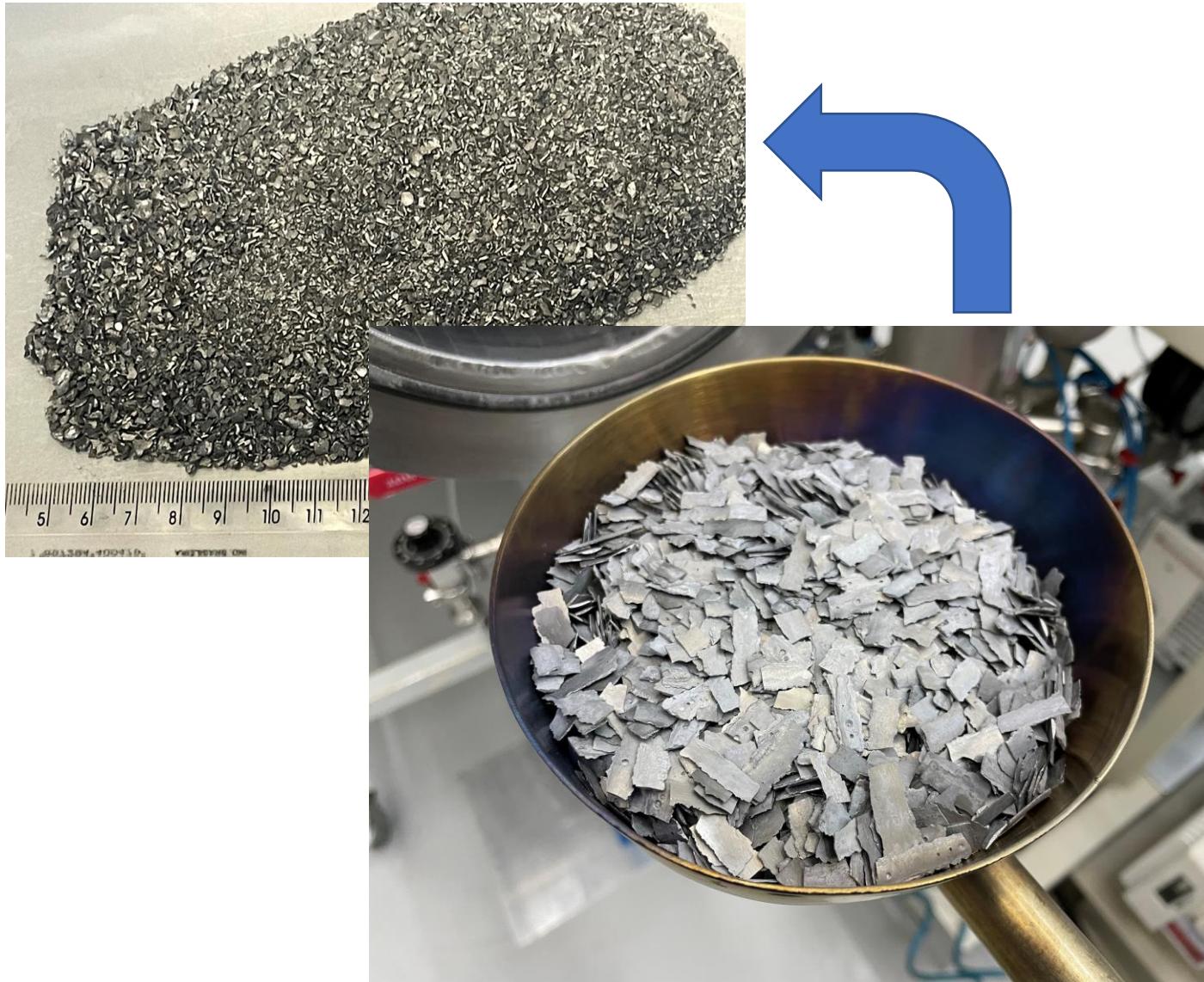
Lingotamento de tiras (Strip-casting)



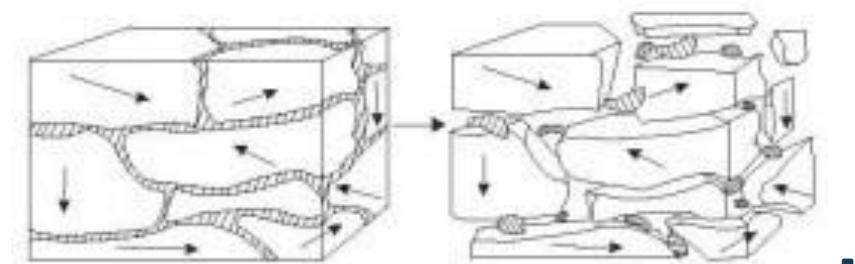
- Liga (Nd, Pr)-Fe-B em estado líquido, sob atmosfera de argônio é vazada sobre um rolo refrigerado em rotação
- As elevadas taxas de resfriamento levam à formação de microestrutura lamelar (com plaquetas em 3D) ideal para hidretoação e suprimem a formação de ferro- α



Hidretação

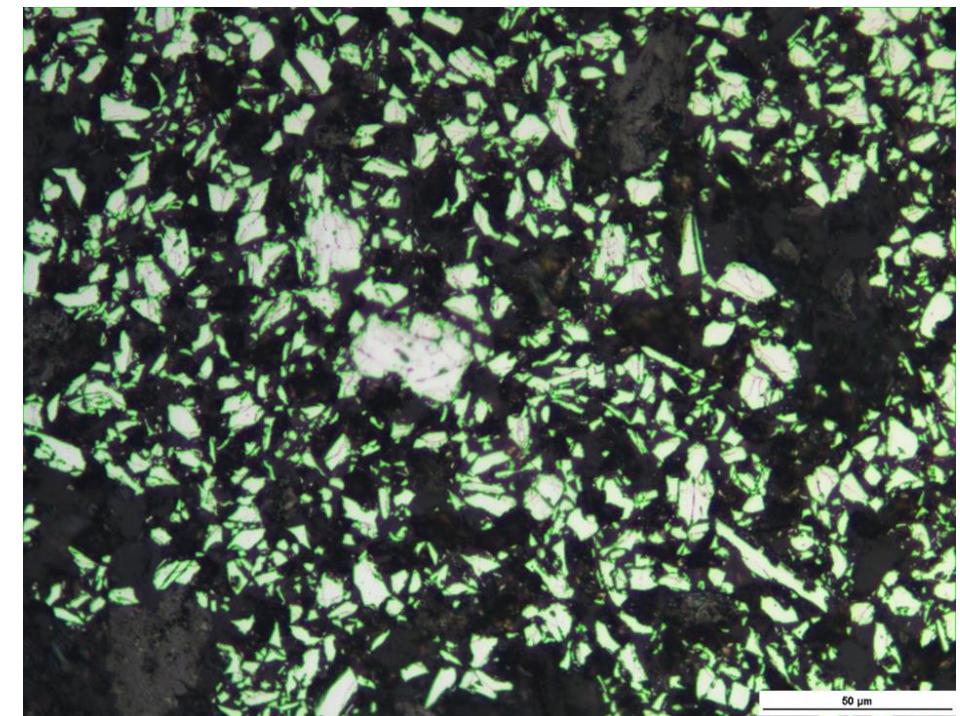


- O processo de hidretação é um processo onde se introduz intencionalmente hidrogênio na liga ao se aplicar uma pressão de gás hidrogênio (H_2) em um forno que contém as tiras de NdFeB.
- Após os tiras serem inseridos no forno, a atmosfera é retirada, fazendo vácuo a uma pressão de 10^{-2} mBar. A seguir, o forno é preenchido com H_2 utilizando-se uma pressão controlada de 1600 mBar.

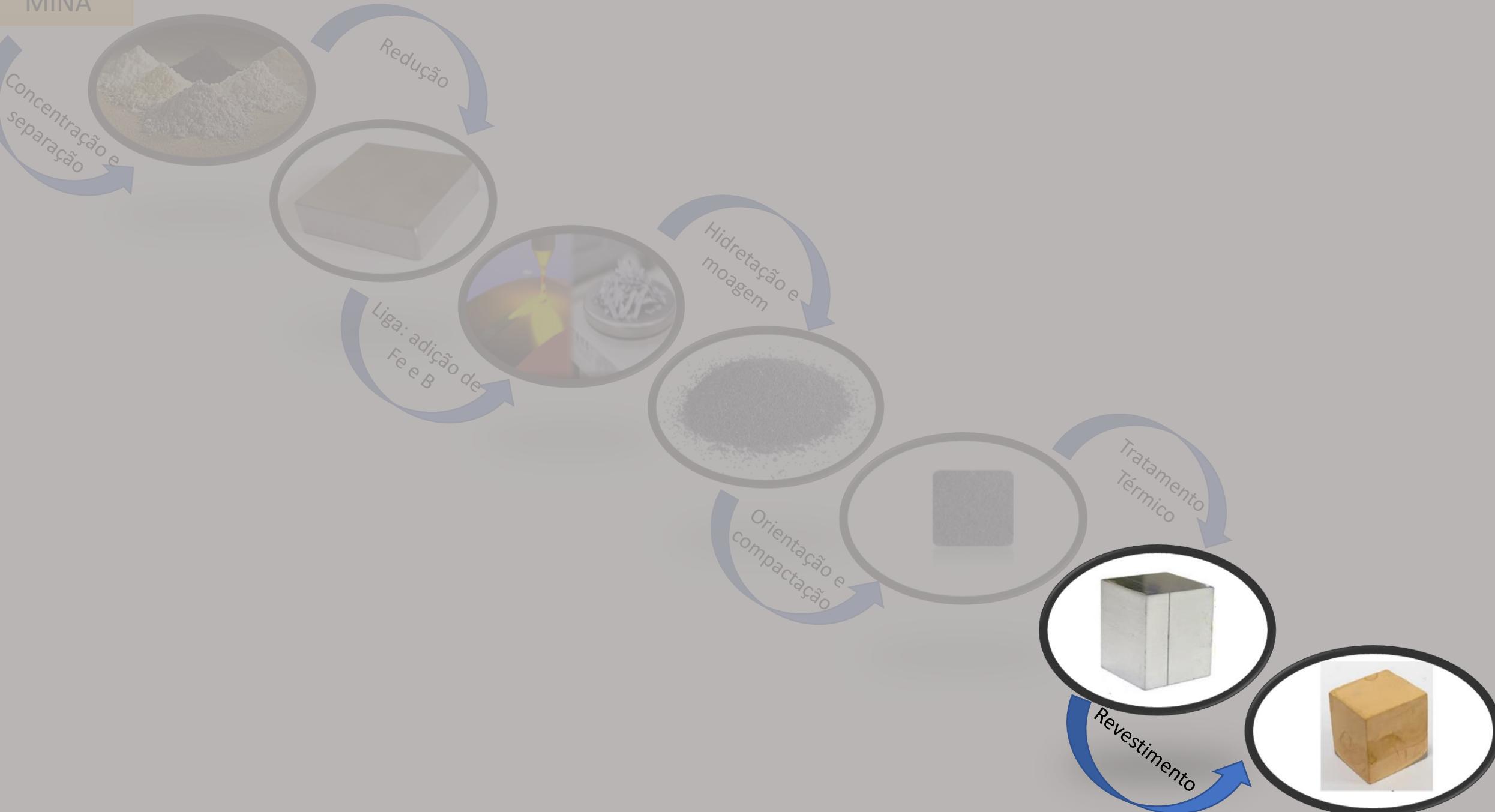


Moagem

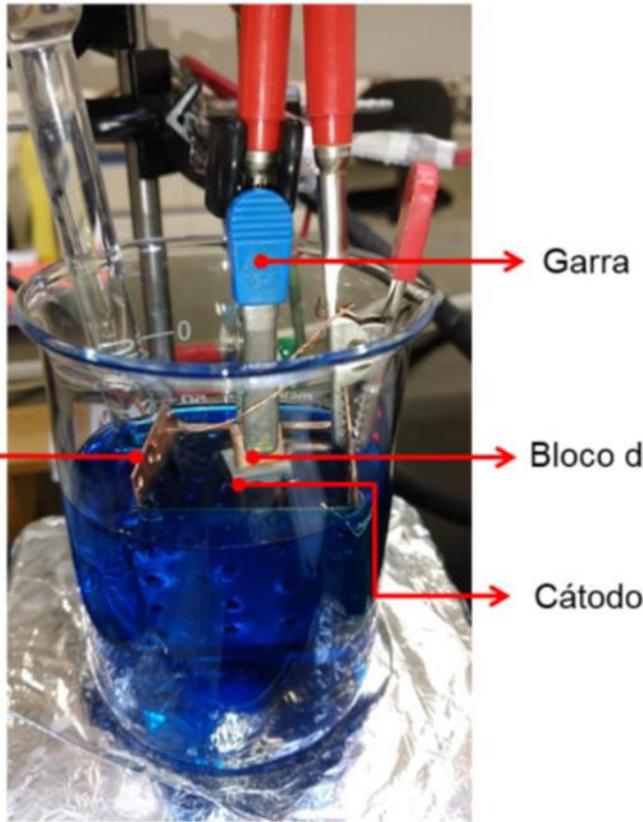
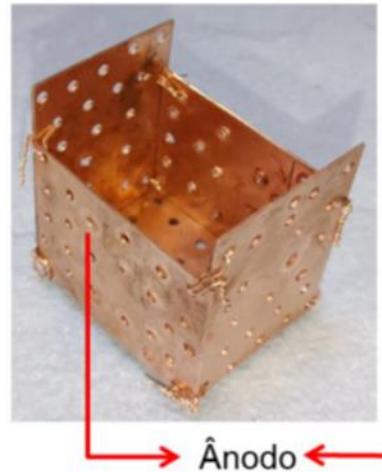
- O princípio de funcionamento do moinho de jatos envolve três jatos de gás inerte (N_2) que criam uma suspensão de partículas dentro da câmara de moagem. Esta suspensão leva ao choque das partículas umas contra as outras de forma que o material é moído de forma autógena.
- No interior da câmara de moagem existe uma roda com fendas horizontais que gira em elevada rotação deixando passar apenas as partículas com tamanho apropriado.



MINA



REVESTIMENTO PROTETIVO



Desenvolver sistema de revestimento protetivo por eletrodeposição em laboratório focado em camadas de níquel e cobre



Com revestimento

TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

■ Projetos Brasileiros: Século 21

2017 - 2024



Processamento e Aplicações de Ímãs de Terras Raras para Indústria de Alta Tecnologia INCT - PATRIA

Executoras



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

▪ **Projetos Brasileiros: Século 21**

FASE 1: 2017 – 2020

FASE 2: 2024 - 2027

REGINA - Rare Earth Global Industry and New Applications – Cooperação Brasil– Alemanha

Executoras

promover o intercâmbio de conhecimentos e capacitação técnica para fortalecer e acelerar o desenvolvimento das tecnologias associadas



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

▪ **Projetos Brasileiros: Século 21**

O Laboratório Fábrica de ímãs de Terras Raras

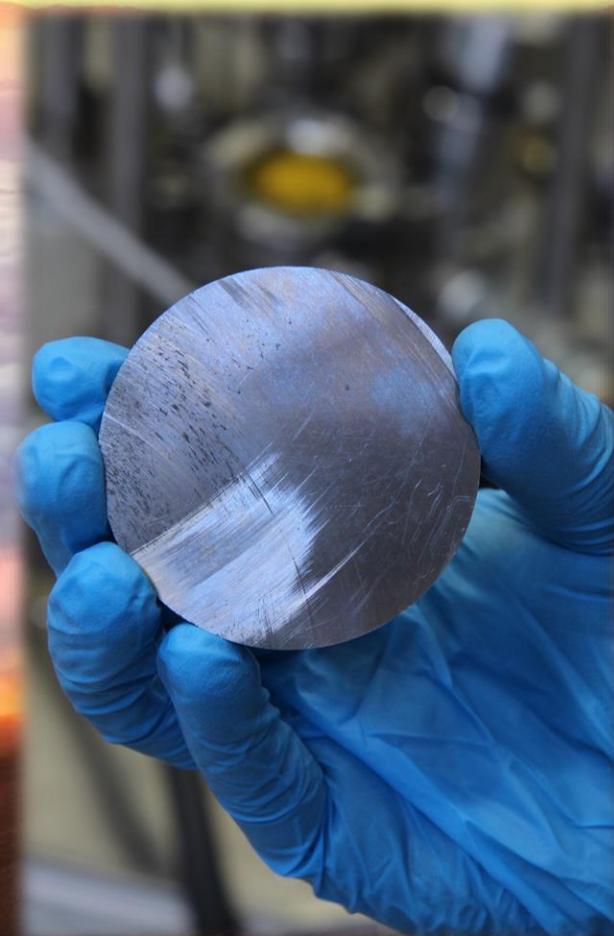


- Capacidade: 100t/ano
- Da redução ao ímã

Dez/2023
FIEMG Adquire →



MAGBRAS - DEMONSTRADOR INDUSTRIAL DO CICLO COMPLETO DE PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ÍMÃS PERMANENTES DE TERRAS RARAS

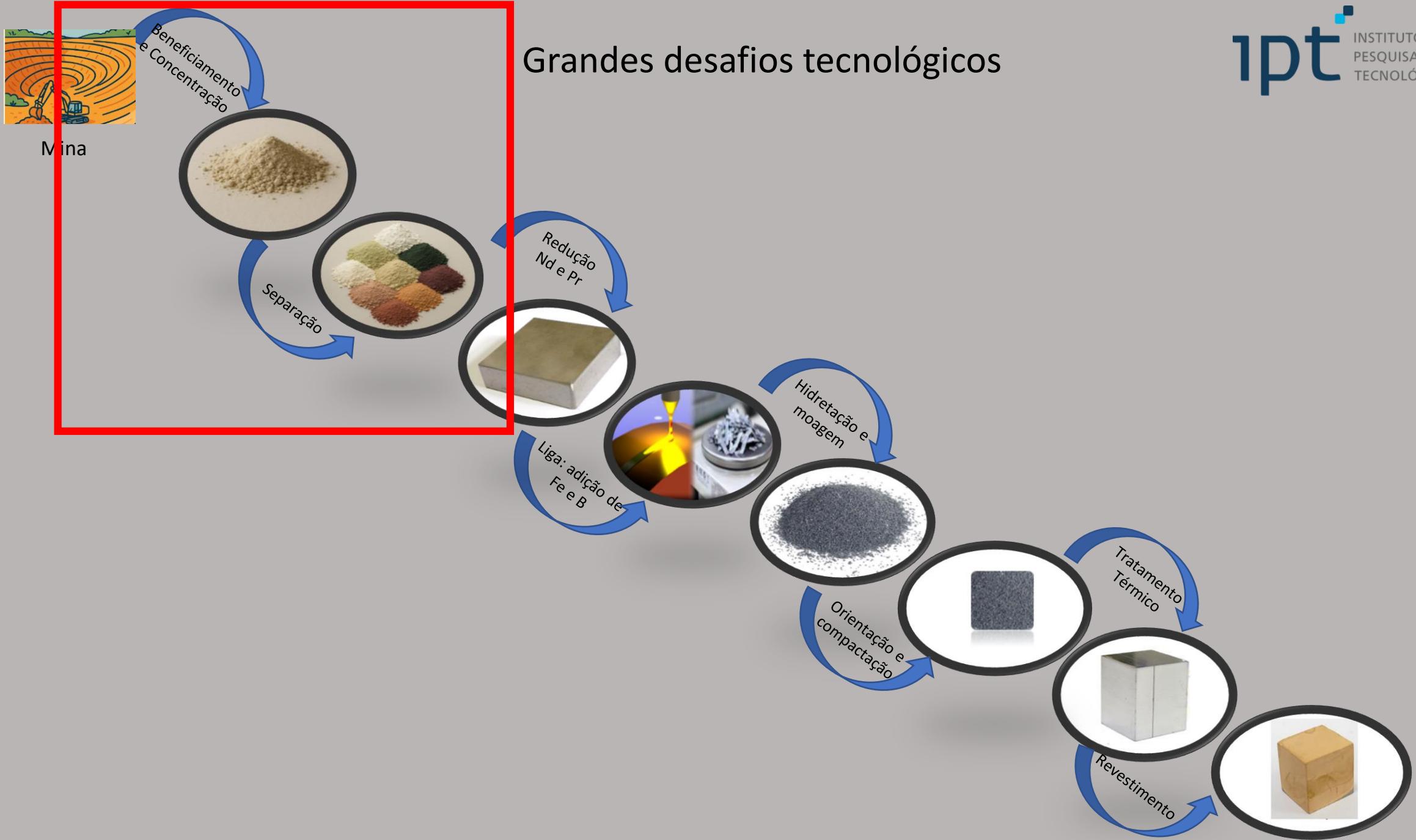


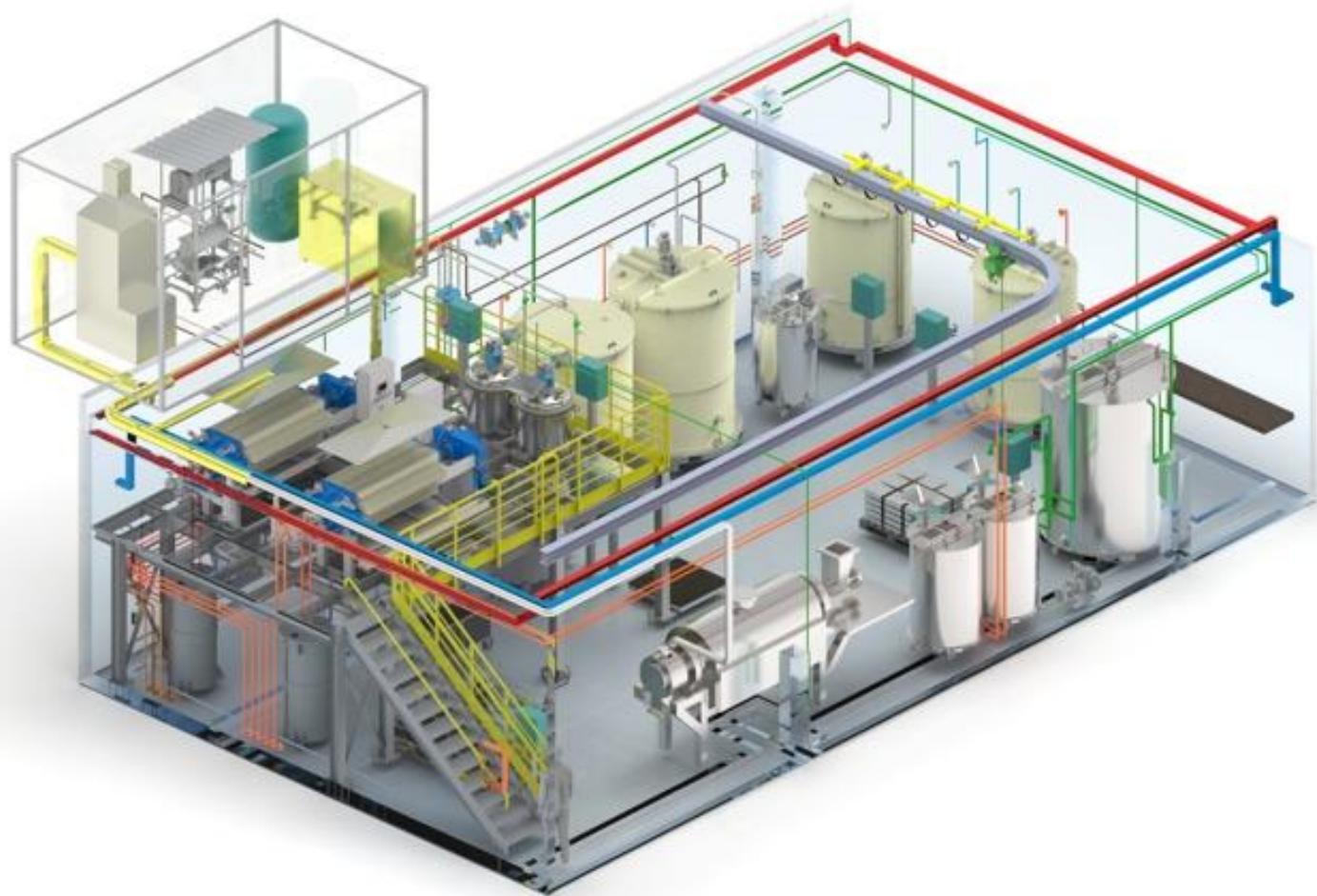
Conheça o projeto MagBras



Investimento total: R\$ 73.336.116,81
3 ICTs, 4 SENAs, 25 empresas e 3 startups
Prazo: 36 meses

Grandes desafios tecnológicos





Planta de
hidrometalurgia

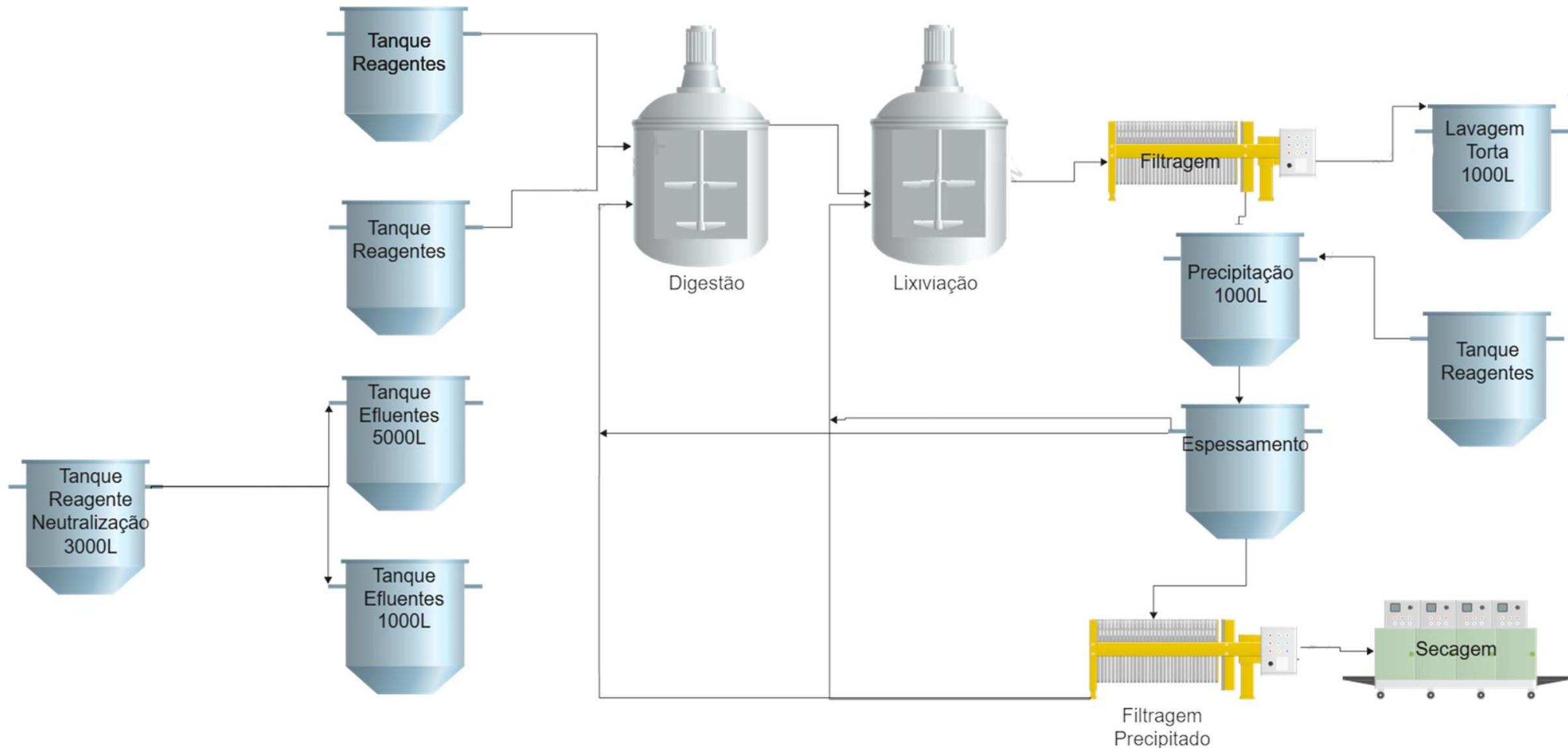
TABOCA

Capacidade

- até 300 kg/batelada de minérios

Componentes

- Digestores ácidos e aquosos
- Lixiviação ácida ou alcalina
- Filtro prensa
- Precipitadores
- Espessador
- Tanques de reagentes e de efluentes



TERRAS RARAS: PROJETOS BRASILEIROS

■ Considerações finais

- Podemos ser uma potencia em Terras Raras
- Temos pessoas e ICTs capacitadas
- Mas quem irá assumir a cadeia produtiva?



**Acesse agora o e-book
Terras Raras do IPT.**





Obrigado!

- André Nunis
- alnunis@ipt.br

 linkedin.com/school/iptsp/

 instagram.com/ipt_oficial/

 youtube.com/@IPTbr/

www.ipt.br

