

Geopolítica e desenvolvimento tecnológico para a cadeia produtiva de terras raras no Brasil

Por Silvia Cristina Alves França e Ysrael Marrero Vera



Silvia Cristina Alves França é engenheira química graduada pela Universidade Federal de Sergipe (1994), com doutorado na área de Sistemas Particulados, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEQ/COPPE/UFRJ) em 2000. É Tecnologista Sênior do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e atua na área de processamento mineral, estudos sobre minerais críticos e estratégicos, dentre outros. Ocupa o cargo de Diretora do CETEM desde setembro de 2020.



Ysrael Marrero Vera é pesquisador do CETEM/MCTI desde 2013, doutor em Ciências dos Materiais e Engenharia Metalúrgica, especialista em hidrometalurgia e separação de terras raras. Atua nos projetos INC-T-MATERIA, REGINA e MagBras, com foco em rotas de separação por extração por solvente.

O Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) é uma unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e tem como missão o desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras para o aproveitamento sustentável dos recursos minerais brasileiros.

Desde a sua criação, em abril de 1978, o Centro atua para o fortalecimento das cadeias produtivas minerais do país. Nesse momento em que o mundo busca por soluções para a descarbonização e para produção de alta tecnologia – as quais têm como base, majoritariamente, a indústria mineral – o CETEM tem papel crucial para auxiliar no aumento da competitividade da indústria nacional, especialmente na pro-

dução de minerais críticos e estratégicos.

Minerais críticos e estratégicos

A demanda global por minerais críticos e estratégicos (MCE) - lítio, terras-raras, grafite, cobre, níquel, cobalto, alumínio, nióbio, dentre outros - é fortemente impulsionada pela necessidade crescente de descarbonização da economia e atendimento aos setores de alta tecnologia, como defesa e informação. Devido à disponibilidade limitada de parte desses insumos, longo prazo de maturação dos investimentos e relativa concentração em poucos países ou regiões, o desafio do atendimento às necessidades mundiais está na redução das vulnerabilidades nas cadeias de suprimentos



Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) - Foto: www.gov.br/cetem

e de tensões de natureza geopolítica [1].

O risco do fornecimento dos MCE estar concentrado em poucos países tem levado a uma reavaliação das cadeias de suprimentos globais, destacando o papel crucial que países como Brasil, Austrália e Canadá, com estabilidade política e confiabilidade reconhecidas, podem desempenhar como fornecedores desses recursos essenciais [1, 2].

O potencial geológico do Brasil é reconhecido pelas reservas naturais de minério de ferro, ouro, cobre, níquel, alumínio, nióbio, lítio, elemento de terras-raras (ETR), dentre outros. Além da diversidade geológica, a atividade de mineração contribui com cerca de 4% do Produto Interno Bruto nacional, ressaltando a relevância da atividade mineral para o País. Portanto, em um contexto no qual os MCE ganham crescente relevância para a transição energética e para setores tecnológicos de ponta, o Brasil apresenta uma oportunidade geopolítica evidente de assumir protagonismo na diversificação da cadeia global de fornecedores.

Entretanto, para o desenvolvimento e consolidação de cadeias produtivas nacionais desses minerais devem ser considerados critérios de governança, circularidade e infraestrutura, necessários para que a produção de minerais críticos e estratégicos no Brasil desempenhe papel crucial na geração de riquezas que se desdobre em prosperidade econômica, porém reduzindo desigualdades e gerando soluções tecnológicas ambientalmente justas e socialmente satisfatórias [1, 2].

Os elementos terras raras

O produto do beneficiamento de minérios portadores de terras raras de diferentes origens geológicas é básico para a fabricação de ímãs permanentes – também chamados de superímãs, em razão de sua elevada força magnética e resistência à desmagnetização – os quais são utilizados, majoritariamente, na fabricação de motores de carros elétricos, de aerogeradores e robôs modernos. Os compostos a base de elementos terras raras também são aplicados na fabricação de catalisadores, ligas e cerâmicas especiais, laser, sensores, LEDs para iluminação, telas de computador, televisões e celulares, dentre outros. Atualmente, a fabricação dos ímãs permanentes representa cerca de 90% da demanda mundial por terras raras, cuja taxa de crescimento é projetada para 7,5% ao ano, até 2040 [3].

Embora o mercado mundial de ETR seja relativamente pequeno (cerca de US\$ 4,2 bilhões/ano), sua importância estratégica tem crescido visivelmente, especialmente diante da necessidade de efetivação de ações para a transição energética e outras demandas de alta tecnologia [4].

Reservas e produção mundial de terras raras

Em trabalho publicado recentemente por pesquisadores do CETEM [4], sobre a revisão das reservas mundiais de terras-raras, com base na edição 2025 do U.S. *Mineral Commodity Summaries*, o total das reservas decresceu de 110 milhões de toneladas

(Mt) de OTR (óxidos totais de terras raras equivalente), em 2023, para 90 Mt de OTR, em 2024. Tal revisão elevou o Brasil de terceiro a segundo maior detentor mundial de reservas do minério. Com base na Tabela 1, 98% das reservas mundiais estão distribuídas em oito países.

A produção mundial aumentou quase cinco vezes desde o ano 2000, passando de 83 mil t (kt) para 390 kt de OTR, em 2025. A China manteve seu protagonismo, com 69% de participação (270 kt), além do domínio tecnológico de toda a cadeia produtiva (Figura 1), desde a extração, beneficiamento, desenvolvimento de ímãs permanentes até a produção de carros elétricos e aero-

geradores. A produção mundial de ímãs é da ordem de 200 kt, estimando-se que 95% sejam ímãs de NdFeB e 5% de SmCo [5, 6].

Embora o Brasil detenha a segunda maior reserva mundial, correspondente a 21 Mt de óxidos de terras-raras, a sua produção foi de 2 kt de concentrado de óxidos de terras-raras, em 2025, ficando na 8ª posição global. Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM, o setor mineral brasileiro produziu e comercializou 1,9 kt de monazita e terras raras, totalizando um valor de produção de R\$ 9,5 milhões em 2023, conforme dados do Anuário Mineral Brasileiro, publicado pela Agência Nacional de Mineração (ANM) [3].

Tabela 1: Informações sobre reservas, produção mineral, refino e produção de ímãs no mundo [4]

Brasil sobe para segundo no ranking, com 23% das reservas de terras raras, mas com produção ainda incipiente, de apenas 1%

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

No Brasil, a produção de terras raras ainda é incipiente e, até o momento, a Mineração Serra Verde, em Minaçu (GO), é a única operação em produção comercial, iniciada em janeiro de 2024, com capacidade inicial de cerca de 5 kt/ano de OTR e expansão prevista para 6,5 kt/ano até 2027 [6]. Entre os projetos com desenvolvimento mais avançado estão o Caldeira, da empresa Meteoric, em Caldas/Poços de Caldas (MG), com meta de primeira produção em 2028; o projeto Carina, da Aclara, em Nova Roma (GO), também previsto para 2028 e com investimento divulgado de R\$ 2,8 bilhões; e o Colossus, da Viridis, em Poços de Caldas (MG), igualmente projetado para entrar em produção em 2028 [7]. Esse conjunto de iniciativas demonstra que o país começa a estruturar uma base produtiva mais relevante, mas ainda focada na mineração e na produção de concentrados, com o desafio de avançar para etapas de maior valor agregado, como separação dos óxidos, produção de metais, ligas e ímãs permanentes [8, 9].

A complexidade do beneficiamento, custos logísticos elevados, impacto ambiental, a falta de domínio tecnológico e comercial

são alguns dos desafios a serem vencidos para a exploração de terras raras em escala industrial no Brasil. Além da necessidade de superação das dificuldades inerentes à separação seletiva dos elementos químicos, há a necessidade de estratégias de mercado global para garantia de aceitação dos produtos nacionais [3]. A atuação com rede de parceiros internacionais será essencial para atenuar ações bruscas do mercado chinês, dominante mundialmente [1, 3].

O Brasil já foi referência na produção de terras raras, na década de 1980, com a empresa Nuclemon, hoje Indústrias Nucleares do Brasil (INB); a falta de investimentos em desenvolvimento tecnológico e a expansão da produção da China a preços muito baixos, com domínio de toda a cadeia de valor, mudou a realidade da indústria nacional [10]. Entretanto, nos últimos anos, observa-se uma retomada do interesse estratégico do país nesse setor, impulsionada por novos projetos de mineração, iniciativas de pesquisa e desenvolvimento e esforços para internalização de etapas de maior valor agregado da cadeia produtiva. Nesse contexto, a Tabela 2

Cadeia produtiva de ímãs



Figura 1 - Fluxo da cadeia produtiva de terras raras [3]

Fonte: Cetem

apresenta uma avaliação atualizada, para 2025, do estágio de competência nacional nas diferentes etapas da cadeia de terras raras no Brasil, destacando os principais avanços e limitações.

Considerando o novo cenário mundial de demanda por terras raras, a consolidação e expansão da produção brasileira de terras raras poderão contribuir para a diversificação do fornecimento global e redução da dependência da China. Portanto, faz-se necessário estabelecer políticas de estado, que englobem atratividade dos financiamentos, segurança jurídica e construção de cadeia de valor que garanta competitividade e mercado para os produtos brasileiros.

Participação do CETEM em projetos nacionais

O CETEM passou a integrar duas importantes iniciativas nacionais voltadas ao desenvolvimento de tecnologias estratégicas para a cadeia de terras-raras: o INCT MATERIA e o MAGBRAS, descritos a seguir.

O INCT MATERIA – Materiais Avançados à Base de Terras Raras: Inovações e Aplicações (projeto aprovado no edital MCTI/CNPq/SECTI/MS/CAPES/FAPs Nº 46/2024) e o projeto MAGBRAS – da Mina ao ímã. A participação do CETEM nesses projetos estratégicos reforça sua posição de destaque na pesquisa científica nacional. O Centro detém uma patente de processo de separação de separação de óxidos de terras raras e contribui com sua expertise nas etapas de refino de ETRs, tanto a partir de fontes minerais quanto de ma-

teriais reaproveitados, como ímãs de terras-raras pós-consumo. Adicionalmente, atua na elaboração de inventários de ciclo de vida dessas substâncias e na estimativa das emissões atmosféricas associadas aos produtos de ETRs, contribuindo com dados relevantes sobre o impacto climático dos processos.

Com investimento de R\$ 10,2 milhões ao longo de cinco anos e participação de 14 Instituições nacionais de excelência, o INCT MATERIA é um projeto interdisciplinar, com especialistas das áreas de física teórica e experimental, química, engenharia de materiais, engenharia química e geologia — formando uma rede voltada à pesquisa e inovação com elementos essenciais à indústria de alta tecnologia.

O projeto MagBras - Demonstrador Industrial do Ciclo Completo de Produção Brasileira de Ímãs Permanentes de Terras:

Raras, cuja concepção foi incentivada pelo cenário geopolítico atual e pelo potencial geológico nacional, pretende estabelecer no país, até 2030, o ciclo completo da cadeia produtiva de ímãs permanentes, do minério ao produto final, reduzindo a dependência externa [12]. Esses ímãs são insumos estratégicos para setores como mobilidade elétrica, geração de energia limpa, indústria de defesa e eletrônica de ponta.

O CETEM atua no desenvolvimento de rotas tecnológicas nacionais para extração, separação por solvente e refino de elementos críticos (como praseodímio, neodímio, térbio e disprósio) a partir de matrizes minerais brasileiras e de ímãs

pós-consumo. Dentre as contribuições do CETEM destacam-se os avanços em separação química (Pr/Nd), desenvolvimento de métodos para obtenção de óxidos de alta pureza — incluindo tecnologia patenteada na separação de óxidos leves e pesados — e parcerias com instituições como SENAI, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e empresas para consolidar a cadeia de suprimentos.

O MagBras é um projeto apoiado pelo programa MOVER, do Governo Federal, com financiamento de R\$73 milhões (3 anos) e é constituído por cerca de 40 instituições parceiras, dentre elas 28 empresas (das quais 12 são do setor mineral), 7 Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) e 3 Fundações de Apoio/Amparo à Pesquisa.

Além do desenvolvimento tecnológico para prover soluções inovadoras ao setor industrial, tais projetos também visam à formação de recursos humanos e geração de conhecimento para a sociedade.

O Brasil possui instituições de pesquisa tecnológica com expertise e infraestrutura para desenvolvimento de rotas de processo e provisão de soluções tecnológicas para o aproveitamento mineiro-metalúrgico dos depósitos brasileiros de terras-raras, porém, muitas empresas nacionais ainda preferem buscar soluções no exterior. Instituições do Governo Federal como o Serviço Geológico do Brasil (SGB) realiza no levantamento de localização e volume das reservas nacionais; o CETEM e o CDTN, ambos ligados ao Ministério da

Ciência, Tecnologia e Inovação, atuam no desenvolvimento de rotas hidrometalúrgicas, em escalas laboratorial e semi-piloto, com o intuito de testar tecnologias de purificação de óxidos como neodímio, praseodímio, disprosio e térbio. O IPT e a UFSC atuam na redução dos óxidos para produção de ligas e na montagem do imã, respectivamente. Ainda assim, o país carece de infraestrutura semi-industrial para validação dessas rotas em escala representativa do mercado [13].

Seminário Brasileiro de Terras Raras (SBTR)

Outra atuação importante do CETEM no fortalecimento da cadeia produtiva de terras-raras no Brasil é a organização de fóruns para discussão do tema com empresas de mineração, Governo e institutos de pesquisa. O Seminário Brasileiro de Terras-raras (SBTR) tem por objetivo fomentar discussões sobre os desafios tecnológicos da cadeia produtiva de terras-raras no Brasil e o momento geopolítico atual como impulsionador dessa cadeia, em termos de investimentos, arcabouço jurídico e competitividade tecnológica internacional. O CETEM participa, historicamente, da organização dos SBTR, como instituição sede (5 anos) ou colaboradora (2025). O VII SBTR (<https://www.even3.com.br/vii-seminario-brasileiro-de-terras-raras-696938/>) será realizado em julho de 2026, com organização do CETEM, em parceria com FINEP e BNDES.

Tabela 2: Panorama do domínio tecnológico por etapa da cadeia de terras raras no Brasil (ano base 2025)

Domínio/Etapa	Lavra	Beneficiamento mineral	Lixiviação
Experimental	●	●	●
Piloto	●	●	●
Inovação	●	●	●
Produção	●	●	●
Comercialização	●	●	●
Base para atualização	A Serra Verde entrou em produção comercial em 2024, tornando o país produtor em escala industrial de concentrado misto de terras raras; portanto, a etapa de lavra já não é mais apenas potencial ou piloto [12].	Há operação industrial associada ao projeto Serra Verde, mas o domínio ainda é fortemente dependente da tipologia do depósito, especialmente argilas iônicas; por isso o domínio da comercialização é considerado parcial [12].	A lixiviação/despolvilhação já sustenta operação comercial em Minas Gerais, porém ainda não há demonstração em escala no país, da mesma forma que a maturidade para todas as rotas e mineralogias brasileiras [11].

Legenda:	● Domínio pleno	● Domínio parcial
-----------------	-----------------	-------------------

Consideração final

A partir da combinação de pesquisa aplicada, parcerias estratégicas, compromisso com a sustentabilidade, geração e compartilhamento do conhecimento, o CETEM

contribuiu para a construção de uma cadeia de minerais críticos e terras-raras mais resiliente, sustentável e tecnologicamente autônoma no Brasil.

	Separação e purificação	Redução de óxidos	Obtenção de ligas e fabricação de ímãs
	●	●	●
	●	●	●
	●	●	●
	●	●	●
	●	●	●
	●	●	●
<p>ressorção ração Minaçu, ão há ampla, sma ra e</p>	<p>O CETEM já demonstrou separação de Pr/Nd, com processo patentado, e o CNPq registra tecnologia em escala piloto contínua; mesmo assim, o Brasil não tem operação comercial dessa etapa em 2025 [12].</p>	<p>O IPT acumulou conhecimento em laboratório e planta-piloto para redução eletroquímica e produção metálica, inclusive com reator-piloto, mas ainda sem consolidação industrial/comercial no país [12].</p>	<p>O CIT Senai ITR possui domínio de fabricação em escala piloto do ciclo tecnológico dos ímãs NdFeB e linha semi-industrial; porém a própria unidade não tem objetivo de produção comercial e ainda depende de matéria-prima importada [12].</p>

● Domínio incipiente

Referências

[1] Fundamentos em Políticas Públicas para Minerais Críticos e Estratégicos (2024). https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/07/IBRAM_MINERAIS_CRITICOS-E-ESTRATEGICOS_web-2.pdf

[2] Green paper IBRAM - Os minerais críticos e estratégicos na COP30: Avançar com uma política para os brasileiros e para o mundo (2025). [IBRAM_news_green-paper_2025_web-1-2.pdf](https://ibram-news-green-paper_2025_web-1-2.pdf)

[3] Revista Química e Derivados. China barra exportação de minérios e estimula produção desses 17 elementos no Brasil (2024). <https://www.quimica.com.br/terras-raras-china-estimula-producao-desses-elementos-no-brasil/>

[4] Rare Earth Elements Market (2025 - 2030). [http:// Rare Earth Elements Market Size | Industry Report, 2030](http://Rare Earth Elements Market Size | Industry Report, 2030)

[5] Brasil Mineral. O Brasil é o segundo em reservas de terras raras no mundo (2025). <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/brasil-e-o-segundo-em-reservas-de-terras-raras-no-mundo>

[6] USGS Minerals Commodities Summaries 2026, Rare Earth. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026.pdf>

[7] METEORIC RESOURCES NL. Caldeira Project - Macquarie WA Forum: a globally strategic, long-life rare earths project with significant growth potential. [S.l.]: Meteoric Resources, 2025. Disponível em: página do anúncio da empresa/plataforma de investidores. Acesso em: 11 mar. 2026.

[8] Serra Verde Enters Commercial Production – Serra Verde (2024). <https://svpm.com.br/en/serra-verde-enters-commercial-production/>

[9] US aims to process critical minerals in Brazil; (2026). <https://www.argusmedia.com/pt/news-and-insights/latest-market-news/2788268-us-aims-to-process-critical-minerals-in-brazil>

[10] Folha de São Paulo (2025). O Brasil já foi referência na indústria de terras raras, mas perdeu fôlego ao longo da história. <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2025/10/brasil-ja-foi-referencia-na-industria-de-terras-raras-mas-perdeu-folego-ao-longo-da-historia>

[11] SERRA VERDE. Serra Verde enters commercial

production. 11 jan. 2024. Disponível em: <https://svpm.com.br/en/serra-verde-enters-commercial-production/>

[12] Revista Fapesp. Brasil investe em pesquisa para dominar o ciclo produtivo das terras-raras e dos superímãs (2025). <https://revistapesquisa.fapesp.br/brasil-investe-em-pesquisa-para-dominar-o-ciclo-produtivo-das-terras-raras-e-dos-superimas/>

[13] Money times. Terras raras viram trunfo estratégico da China; Brasil quer entrar no jogo. <https://www.moneytimes.com.br/terras-raras-viram-trunfo-estrategico-da-china-brasil-quer-entrar-no-jogo-gmda/>