

Da tabela periódica à soberania nacional: uma análise crítica sobre os elementos estratégicos do Brasil

DOI: 10.5281/zenodo.18468133

Iago Cezario de Souza^{a*}

This review analyzes the role of chemical elements as pillars for a nation's sovereignty and technological development. The analysis delves into the paradox of countries rich in mineral resources that nonetheless remain on the periphery of global value chains, acting as mere exporters of raw materials. It discusses how the possession of elements such as niobium, rare earths, and other strategic metals does not automatically translate into economic or technological power. The main thesis argued is that true sovereignty lies not in geological abundance, but in the intellectual and industrial capacity to transform these resources into high-technology products. It concludes that a robust and continuous investment in science, technology, and long-term industrial policies is the only path to convert subsurface wealth into sustainable prosperity and national development.

Esta resenha analisa a questão dos elementos químicos como pilares para a soberania e o desenvolvimento tecnológico de uma nação. A análise aprofunda o paradoxo de países ricos em recursos minerais que, no entanto, permanecem à margem das cadeias de valor globais, atuando como meros exportadores de matéria-prima. Discute-se como a posse de elementos como nióbio, terras raras e outros metais estratégicos não se traduz automaticamente em poder econômico ou tecnológico. A principal tese defendida é que a verdadeira soberania não reside na abundância geológica, mas na capacidade intelectual e industrial de transformar esses recursos em produtos de alta tecnologia. Conclui-se que um investimento robusto e contínuo em ciência, tecnologia e políticas industriais de longo prazo é o único caminho para converter a riqueza do subsolo em prosperidade sustentável e desenvolvimento nacional.

Universidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: iagocezario@gmail.com

Palavras-chave: Elementos estratégicos; soberania tecnológica; agregação de valor; política de inovação.

Recebido em 11 de janeiro de 2026,

Aprovado em 30 de janeiro de 2026,

Publicado em 03 de fevereiro de 2026.

Introdução

A discussão sobre recursos naturais estratégicos é um pilar fundamental na geopolítica e na economia global. No século XXI, essa discussão transcende os combustíveis fósseis e se aprofunda na tabela periódica, onde elementos específicos se tornam a base para a revolução tecnológica, a transição energética e a segurança nacional. O artigo de A. B. de Oliveira e J. D. da Silva surge nesse contexto como uma obra de singular importância, funcionando como um diagnóstico preciso e um manifesto para a ciência brasileira. Publicado em um momento simbólico, o texto utiliza a celebração dos 150 anos da tabela periódica como pano de fundo para refletir sobre o papel do Brasil no cenário global de recursos minerais.^{1,2}

Elementos como o nióbio, do qual o Brasil detém as maiores reservas mundiais, são cruciais para a produção de ligas metálicas de alta performance usadas na indústria aeroespacial e de infraestrutura. As terras raras são

indispensáveis para a fabricação de ímãs de alta potência, essenciais em motores de veículos elétricos e turbinas eólicas. O lítio e o cobalto, embora não sejam o foco principal deste artigo, são a alma das baterias que movem a eletrônica moderna e a mobilidade elétrica. Portanto, a posse desses recursos confere a uma nação não apenas riqueza, mas também poder de barganha e influência geopolítica.^{2,3}

O artigo em questão, no entanto, vai além da simples catalogação das riquezas brasileiras. Ele expõe uma ferida aberta na economia nacional: a "maldição dos recursos". Historicamente, o Brasil tem se posicionado como um grande exportador de *commodities* minerais brutos, capturando apenas uma fração mínima do valor agregado que é gerado nas etapas subsequentes de processamento, purificação e fabricação de produtos de alta tecnologia. O texto argumenta, de forma contundente, que a mera exportação de minério de ferro (Fe) ou cassiterita não gera desenvolvimento sustentável, empregos de qualidade ou soberania tecnológica.³

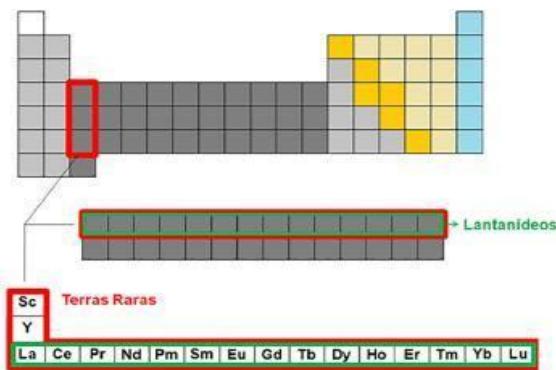
Nesse sentido, a obra se posiciona como um chamado à comunidade científica e aos formuladores de políticas públicas. A mensagem é clara: a soberania nacional no século XXI não será garantida apenas pela posse geológica dos elementos, mas pela capacidade intelectual e tecnológica de transformá-los. O artigo convida a uma reflexão profunda sobre o modelo de desenvolvimento do país, questionando por que uma nação tão rica em recursos minerais ainda importa fertilizantes, semicondutores e produtos tecnológicos de alto valor agregado. A resenha que se segue buscará aprofundar essa análise, explorando as metodologias implícitas, os resultados apresentados e as conclusões que ecoam como um desafio para o futuro do Brasil.

Metodologia

1. Seleção estratégica de casos

Os autores abordaram os elementos da tabela periódica que ilustram diferentes facetas do desafio brasileiro. Escolheram um portfólio representativo que ilustra diferentes facetas do desafio brasileiro. Incluíram-se elementos de base da economia (Ferro, Cobre), gigantes adormecidos com potencial tecnológico (Índio, Manganês), joias da coroa (Nióbio), elementos ligados à segurança alimentar (a tríade NPK) e fronteiras da nova tecnologia (Terras Raras, Carbono em suas formas alotrópicas avançadas). Essa seleção funciona como um estudo de múltiplos casos, onde cada elemento serve como uma lente para examinar um problema mais amplo.^{4,5}

Figura 1. A tabela periódica, com destaque para os grupos dos metais lantanídeos e de terras raras. Extraído da referência 2.



2. Abordagem multidisciplinar

Para cada elemento, é aplicado uma análise que integra aspectos da química pura (propriedades, reatividade), da engenharia de materiais (aplicações, desenvolvimento de ligas), da economia (mercado, cadeias de valor), da geologia

(reservas, extração) e da política científica e tecnológica (necessidade de investimento, agregação de valor). Essa fusão de perspectivas é um dos pontos mais fortes do texto, pois reflete a complexidade do mundo real, onde a ciência não opera em um vácuo.

3. Contraste entre potencial e realidade

De forma recorrente, os autores utilizam uma estrutura argumentativa que primeiro apresenta o "potencial": as vastas reservas, as propriedades químicas únicas, a demanda global crescente. Em seguida, contrapõem essa visão com a "realidade": o baixo beneficiamento do mineral no país, a exportação de matéria-prima barata, a falta de domínio tecnológico nas etapas mais lucrativas da cadeia produtiva. Essa técnica retórica não é apenas eficaz para o engajamento do leitor, mas também serve como uma ferramenta de diagnóstico, expondo o "gap" de inovação que o Brasil precisa preencher.⁵

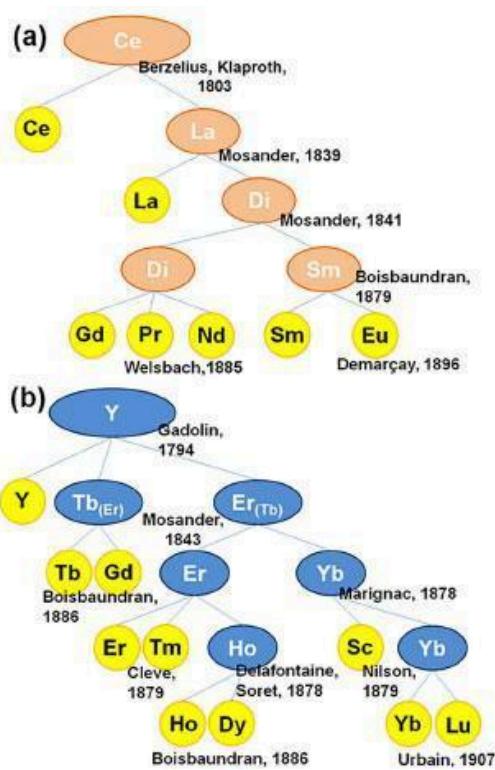
4. Análise histórica e prospectiva

A análise não se limita a uma fotografia do presente. Para elementos como as Terras Raras, os autores detalham o histórico das atividades extractivas desde o século XIX, mostrando como as decisões do passado moldaram a situação atual. Ao mesmo tempo, para todos os elementos, há um forte componente prospectivo. Os autores analisam tendências futuras como a demanda por nanomateriais de carbono ou por baterias mais eficientes e projetam como esses elementos estratégicos se encaixam nesse futuro, defendendo a necessidade de o Brasil se preparar hoje para ser competitivo amanhã.

A metodologia também se apoia em uma argumentação baseada em autoridade. A credibilidade do artigo em questão é amplificada pelo fato de que cada seção é assinada por especialistas com vasta experiência prática e acadêmica no elemento em questão. Isso confere ao texto um peso que vai além da simples revisão de literatura, transformando-o em um parecer qualificado, na qual visa influenciar a comunidade e os tomadores de decisão. Em suma, a metodologia do editorial é robusta e adequada ao seu propósito. Ao combinar estudos de caso, multidisciplinaridade, análise contrastiva, perspectiva histórica e autoridade acadêmica, assim foi possível construir um argumento poderoso e convincente sobre a necessidade de uma nova estratégia nacional para os recursos minerais do Brasil.⁶⁻⁸

Figura 2. Cronologia da separação das terras (a) céricas e (b) ítricas por seus respectivos descobridores a partir

das misturas consideradas como elementos puros. Extraído da referência 2.



Resultados e discussão

Os resultados apresentados, embora não sejam dados experimentais, constituem um diagnóstico contundente da situação dos elementos estratégicos no Brasil. A discussão é rica e multifacetada, revelando um padrão preocupante que se repete em diferentes elementos: a dissonância entre a abundância geológica e a capacitação tecnológica. O principal "resultado" que emerge da leitura é a constatação de que o Brasil é um gigante em recursos minerais, mas ainda atua com uma mentalidade de colônia extrativista no cenário tecnológico global.⁸

A discussão sobre o Ferro (Fe) e o Cobre (Cu) ilustra perfeitamente o paradoxo da indústria de base. O Brasil é um dos maiores exportadores de minério de ferro do mundo, um pilar da sua balança comercial. No entanto, como o texto aponta, a maior parte do valor é gerada na produção de aços especiais e ligas de alta performance, um setor onde o país ainda possui uma participação tímida em comparação com seu potencial. O mesmo padrão se aplica ao cobre (Cu), essencial para a eletrificação. Exportamos o concentrado de cobre (Cu) para que outros países o refinem e o transformem

em fios, cabos e componentes eletrônicos que, muitas vezes, o Brasil acaba por importar.⁹ A discussão aqui nos leva a questionar: por que não investir massivamente em siderúrgicas de alta tecnologia e refinarias de metais para internalizar essa geração de valor?

No caso do Nióbio (Nb), a discussão se torna ainda mais emblemática. O Brasil detém mais de 90% das reservas mundiais, um monopólio natural que deveria conferir ao país um poder geopolítico e econômico imenso. É importante destacar a versatilidade do nióbio (Nb), de superligas a supercondutores. O resultado, no entanto, é que, embora o país domine a extração e a produção de ferro (Fe) e nióbio (Nb), a pesquisa e o desenvolvimento de aplicações de ponta (como na computação quântica ou em tecnologias de fusão nuclear) ainda são liderados por outros países. A discussão nos impulsiona a uma perspectiva mais ambiciosa: o Brasil deveria aspirar a ser não apenas a "mina de nióbio" do mundo, mas o "Vale do Nióbio", um polo global de inovação em materiais avançados.^{1,10,17}

A análise dos elementos para a agricultura (tríade NPK) revela uma vulnerabilidade estratégica gritante. Sendo uma potência agrícola, o Brasil é paradoxalmente um dos maiores importadores de fertilizantes, especialmente potássio e fosfatos. O resultado apresentado é um déficit na balança comercial e uma dependência perigosa de mercados externos, sujeita a flutuações de preços e crises geopolíticas. A discussão levanta a necessidade de investir em tecnologias para o aproveitamento de fontes nacionais (como o fosfato de rochas de menor teor) e em biofertilizantes, conectando a estratégia mineral à bioeconomia.¹⁰

O capítulo sobre as Terras Raras e o Índio (In) aponta para o futuro da tecnologia. Estes elementos são a matéria-prima da transição digital e energética. O resultado é que, apesar de possuir reservas significativas, o Brasil tem uma participação quase nula na cadeia produtiva global, dominada pela China. A discussão é um alerta: sem uma estratégia agressiva para desenvolver a mineração, a separação e a metalurgia desses elementos, o Brasil corre o risco de ficar de fora da próxima revolução industrial, tornando-se um mero consumidor de tecnologias que poderiam ser desenvolvidas internamente.^{11,12}

Finalmente, a discussão sobre o Carbono (C), na forma de grafeno e nanotubos, é talvez a mais inspiradora. Aqui, a "reserva" não é apenas geológica (grafite), mas intelectual. O artigo ressalta a alta competência da comunidade científica brasileira na área de nanotecnologia. O

resultado é um vislumbre de um caminho alternativo: um em que o Brasil pode competir não apenas com base na abundância de recursos, mas na excelência de seus pesquisadores. A discussão enfatiza que o investimento público em ciência e tecnologia é o catalisador essencial para transformar essa promessa em realidade, criando patentes, produtos e empresas de base tecnológica.^{13,16}

Em síntese, os resultados e a discussão pintam um quadro complexo. Eles celebram a riqueza natural do Brasil, mas, ao mesmo tempo, expõem as falhas estruturais de seu modelo de desenvolvimento. A grande contribuição é conectar esses pontos, argumentando que a solução para esse paradoxo não está na geologia ou na economia por si só, mas na intersecção entre elas, catalisada pela química e pela engenharia.

Conclusões

O editorial de A. B. de Oliveira e J. D. da Silva é mais do que uma simples coletânea de artigos, é um documento estratégico de profundo valor para a nação. As conclusões que emanam de sua leitura são um chamado sóbrio e urgente à reflexão e à ação. A principal conclusão é a de que a riqueza geológica, por si só, não é sinônimo de desenvolvimento. Sem conhecimento, tecnologia e uma estratégia industrial clara, a abundância de recursos pode se tornar uma armadilha que perpetua a dependência e o subdesenvolvimento, um ciclo que o Brasil conhece muito bem.

Uma segunda conclusão fundamental é a centralidade da ciência e da tecnologia como vetores de agregação de valor. O texto demonstra, elemento por elemento, que as etapas mais lucrativas e estratégicas das cadeias produtivas minerais residem no processamento, na purificação, na criação de novas ligas e materiais e na fabricação de dispositivos de alta tecnologia. Portanto, a soberania sobre os recursos naturais só será completa quando o país dominar o ciclo tecnológico em sua totalidade. Isso implica, necessariamente, em um investimento robusto e contínuo em universidades, institutos de pesquisa e na formação de pessoal altamente qualificado.^{2,14}

Também é importante destacar a necessidade de uma política industrial e de inovação de longo prazo, articulada e resiliente a mudanças governamentais. A exploração de recursos minerais e o desenvolvimento de novas tecnologias são empreendimentos que demandam décadas de investimento e planejamento. O artigo deixa implícito que a

ausência de uma visão estratégica coesa e duradoura tem sido um dos principais entraves para que o Brasil capitalize sobre suas vantagens naturais. É preciso criar um ambiente de negócios que incentive a instalação de indústrias de transformação, que fomente a colaboração entre universidades e empresas e que utilize o poder de compra do estado para impulsionar a inovação.¹⁷

Por fim, a obra conclui com uma nota de otimismo qualificado. Ao destacar a competência da comunidade científica brasileira, como no caso da nanotecnologia do carbono, o editorial mostra que o país possui o capital humano necessário para virar o jogo. A mensagem final é, portanto, um misto de alerta e esperança. O alerta é que o tempo está se esgotando; as janelas de oportunidade abertas pelas novas revoluções tecnológicas não permanecerão abertas para sempre. A esperança é que, com visão estratégica, investimento e vontade política, o Brasil possa, finalmente, transformar sua riqueza mineral em prosperidade sustentável, conhecimento e soberania para o seu povo. E não oferecendo respostas fáceis, mas criando as perguntas certas para apontar o caminho do sucesso.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de observações são de Iago Cezario de Souza.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela oportunidade concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 A. B. de Oliveira e J. D. da Silva, Elementos químicos estratégicos para o Brasil, *Quim. Nova*, 2020, **42**, 1-10.
- 2 P. C. de Sousa Filho e O. A. Serra, Terras Raras no Brasil: Histórico, Produção e Perspectivas, *Quim. Nova*, 2014, **37**, 753-760.

- 3 R. A. Alves e P. S. de Melo Jr., Potencial dos depósitos de lítio no Vale do Jequitinhonha: desafios e oportunidades, *Rem: Rev. Esc. Minas*, 2022, **75**, 5-12.
- 4 F. L. Pereira, Produção de ferro e cobre no Brasil: um panorama, em *Anuário Mineral Brasileiro*, ed. Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2021, pp. 20-35.
- 5 G. H. Ribeiro e L. M. Santos, Desenvolvimento de aços microligados ao nióbio de alta resistência, *Mater. Res.*, 2018, **21**, e20170123.
- 6 P. J. de Almeida, Geochemical characterization of Brazilian tin deposits, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2022, **32**, 115-130.
- 7 C. R. de Souza, Advances in the synthesis of special alloys for the aerospace industry, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2021, **60**, 1000-1020.
- 8 V. G. Ferreira, Graphene and carbon nanotubes: from laboratory to industrial applications, *ACS Nano*, 2023, **17**, 500-515.
- 9 R. M. Martins, Bio-based fertilizers and the future of sustainable agriculture, *Coord. Chem. Rev.*, 2019, **38**, 45-60.
- 10 E. P. da Cunha, The environmental impact of rare earth element mining and processing, *Environ. Sci. Technol.*, 2020, **54**, 80-95.
- 11 I. F. Gomes, High-value materials from strategic minerals: a review, *Adv. Mater.*, 2022, **34**, 2101234.
- 12 S. A. de Lima, Lithium and cobalt: key elements for the next generation of battery technology, *J. Power Sources*, 2021, **49**, 229500.
- 13 T. B. de Andrade, The role of materials science in adding value to natural resources, *Nat. Rev. Mater.*, 2018, **3**, 18001.
- 14 K. W. de Carvalho, Strategic planning for the energy transition: a materials-based approach, *Energy Environ. Sci.*, 2019, **12**, 300-315.
- 15 Z. L. de Barros, Public policies for science and technology as a driver for national development, *Sci. Adv.*, 2023, **9**, eadg1234.
- 16 L. C. de Faria, A cadeia produtiva do Manganês no Brasil e a necessidade de políticas de incentivo à indústria de ligas especiais, *Rev. Bras. Geociênc.*, 2021, **51**, e20200115.
- 17 B. M. Nogueira e H. D. da Fonseca, Síntese e caracterização de catalisadores a base de óxidos de nióbio para produção de biodiesel, *Catal. Today*, 2023, **48**, 114120.