

A NOVA RIQUEZA DAS NAÇÕES PARA ALÉM DA EXTRAÇÃO: O PAPEL DAS TERRAS RARAS COMO CATALISADORAS DE ARRANJOS PRODUTIVOS INOVADORES E COMPETITIVOS NA COMPLEXIDADE ECONÔMICA NO BRASIL

THE NEW WEALTH OF NATIONS BEYOND EXTRACTION: THE ROLE OF RARE EARTH ELEMENTS AS CATALYSTS FOR INNOVATIVE AND COMPETITIVE PRODUCTION ARRANGEMENTS IN THE ECONOMIC COMPLEXITY OF BRAZIL

LA NUEVA RIQUEZA DE LAS NACIONES MÁS ALLÁ DE LA EXTRACCIÓN: EL PAPEL DE LAS TIERRAS RARAS COMO CATALIZADORES DE ACUERDOS PRODUCTIVOS INNOVADORES Y COMPETITIVOS EN LA COMPLEJIDAD ECONÓMICA DE BRASIL



10.56238/revgeov16n5-118

Ricardo Daher Oliveira

Doutor em Engenharia da Produção

Instituição: Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP), Universidade Estadual da Bahia (UNEB)

E-mail: ricardodaher@uneb.br

Wilson Alves Araújo

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Universidade Estadual da Bahia (UNEB)

E-mail: wilsonaaraujo@gmail.com

Attawan Guerino Locatel Suela

Doutor em Economia Aplicada

Instituição: Universidade Estadual da Bahia (UNEB)

E-mail: attawan_zull@hotmail.com

RESUMO

Preconizados pelas ciências econômicas, os agentes microeconômicos – famílias, Estado e firmas – interagem por meio dos fatores de produção (terra, trabalho, capital e tecnologia) e impulsionam o desenvolvimento econômico. Nesse contexto, este artigo discute como o mapeamento sistemático das terras raras pode orientar políticas industriais, atrair investimentos e fomentar arranjos produtivos locais, gerando externalidades positivas como inovação e redução de custos. A busca por elementos de terras raras consolidou-se como um recurso estratégico, essencial para setores de alta tecnologia, energias renováveis, eletrônica e defesa nacional. Sua exploração tem potencial de elevar a complexidade econômica brasileira, favorecer a criação de clusters produtivos e fortalecer a competitividade nacional. Entretanto, persistem desafios logísticos, tecnológicos e regulatórios que dificultam a integração desses minerais em cadeias de valor sofisticadas. Dessa forma, o estudo investiga de que maneira a identificação e o aproveitamento estratégico das terras raras podem contribuir para a diversificação econômica, promovendo uma nova base industrial de alto valor agregado. Examina-se, ainda, como a logística eficiente, a coordenação entre os agentes econômicos e a formação de arranjos produtivos especializados podem reduzir a histórica dependência do país em



relação às commodities tradicionais. O objetivo é demonstrar que a integração entre extração, processamento e aplicações tecnológicas representa uma oportunidade para reposicionar o Brasil no cenário internacional, vinculando desenvolvimento sustentável à soberania econômica. O estudo enfatiza a necessidade de políticas públicas integradas, governança territorial e fortalecimento institucional para transformar o potencial das terras raras em vetores efetivos de desenvolvimento sustentável e complexo.

Palavras-chave: Terras Raras. Complexidade Econômica. Arranjos Produtivos. Logística Estratégica.

ABSTRACT

Advocated by economic sciences, microeconomic agents – households, the state, and firms – interact through the factors of production (land, labor, capital, and technology), driving economic development. In this context, this article discusses how the systematic mapping of rare earth elements can guide industrial policies, attract investments, and foster local productive arrangements, thereby generating positive externalities such as innovation and cost reduction. The demand for rare earth elements has emerged as a strategic resource, essential for high-technology sectors, renewable energy, electronics, and national defense. Their exploitation has the potential to enhance Brazil's economic complexity, stimulate the creation of industrial clusters, and strengthen national competitiveness. However, significant logistical, technological, and regulatory challenges remain, limiting the integration of these minerals into sophisticated value chains. Thus, this study investigates how the identification and strategic use of rare earths can contribute to the diversification of the Brazilian economy, fostering a new industrial base of high value-added goods. Furthermore, it examines how efficient logistics, coordination among economic agents, and the formation of specialized productive arrangements can mitigate the country's long-standing dependence on traditional commodities. The aim is to demonstrate that integrating extraction, processing, and technological applications represents an opportunity to reposition Brazil within the international arena, linking sustainable development to economic sovereignty. The study focuses on the need for integrated public policies, territorial governance and institutional strengthening to transform the potential of rare earths into effective vectors of sustainable and complex development.

Keywords: Rare Earths. Economic Complexity. Productive Arrangements. Strategic Logistics.

RESUMEN

Como lo defienden las ciencias económicas, los agentes microeconómicos —hogares, Estado y empresas— interactúan a través de los factores de producción (tierra, trabajo, capital y tecnología) e impulsan el desarrollo económico. En este contexto, este artículo analiza cómo el mapeo sistemático de elementos de tierras raras puede orientar las políticas industriales, atraer inversiones y fomentar acuerdos productivos locales, generando externalidades positivas como la innovación y la reducción de costos. La búsqueda de elementos de tierras raras se ha convertido en un recurso estratégico, esencial para los sectores de alta tecnología, las energías renovables, la electrónica y la defensa nacional. Su exploración tiene el potencial de incrementar la complejidad económica de Brasil, favorecer la creación de clústeres productivos y fortalecer la competitividad nacional. Sin embargo, persisten desafíos logísticos, tecnológicos y regulatorios que dificultan la integración de estos minerales en cadenas de valor sofisticadas. Por lo tanto, este estudio investiga cómo la identificación y el uso estratégico de elementos de tierras raras pueden contribuir a la diversificación económica, promoviendo una nueva base industrial de alto valor agregado. Este estudio también examina cómo una logística eficiente, la coordinación entre los agentes económicos y la formación de clústeres de producción especializados pueden reducir la dependencia histórica del país de los productos básicos tradicionales. El objetivo es demostrar que la integración de la extracción, el procesamiento y las aplicaciones tecnológicas representa una oportunidad para reposicionar a Brasil en el ámbito internacional, vinculando el desarrollo sostenible con la soberanía económica. El estudio destaca la necesidad de políticas públicas integradas, gobernanza territorial y fortalecimiento institucional para



transformar el potencial de los elementos de tierras raras en vectores eficaces de desarrollo sostenible e integral.

Palabras clave: Elementos de Tierras Raras. Complejidad Económica. Clústeres de Producción. Logística Estratégica.



1 INTRODUÇÃO

Quando se considera a dinâmica microeconômica, fundamentalmente sustentada pelas famílias, Estado e firmas, fica evidente o porquê a interação entre os agentes dará origem dos fluxos das atividades econômicas que irão contribuir para a alocação eficiente dos fatores de produção: terra, trabalho, capital e tecnologia. Não diferente, conforme ficará evidenciado na leitura deste artigo, na exploração das terras raras pelas nações, impulsionará cada vez mais a relação entre os agentes: Estado, Universidades e Firms, para consolidação do desenvolvimento.

Contudo, nem todos os recursos estão visíveis ao processo produtivo. Esta falta de visão quanto aos recursos naturais estratégicos, em especial as terras raras, emergem como elementos centrais para o desenvolvimento econômico e a inserção competitiva das nações em cadeias globais de valor. Induzindo o Estado a um maior investimento na área de educação para que seja formada uma mão de obra capaz de identificar e processar estes novos recursos naturais tão significativos aos processos produtivos.

Esses elementos, (metais ou não metais), identificados e processados a partir dessas terras raras, são essenciais para setores de alta tecnologia, como energias renováveis, eletrônicos e defesa, que já são dotados por países e regiões com potencial não apenas para impulsionar a inovação, mas também para redefinir a complexidade econômica das economias detentoras de suas reservas, como, no caso, o Brasil.

Modernamente, neste início de século XXI, a logística de extração, processamento e distribuição das terras raras passou a representar um desafio multidimensional, envolvendo infraestrutura, regulamentação e coordenação entre os agentes econômicos. Paralelamente, a formação de *clusters* produtivos – arranjos territoriais que integram empresas, instituições de pesquisa e políticas públicas – pode transformar vantagens comparativas em competitivas, gerando externalidades positivas como sinergias tecnológicas e redução de custos. A experiência internacional demonstra que países como China e Estados Unidos da América (EUA) consolidaram suas lideranças nesse mercado, justamente, pela articulação entre inovação, políticas industriais e redes produtivas especializadas.

No caso do Brasil, apesar de possuir uma das maiores reservas globais de terras raras, o país ainda carece não apenas de um mapeamento sistemático desses recursos e de estratégias claras para incorporá-los a cadeias de valor sofisticadas, mas também, à necessidade de formação profissional qualificada para depuração dos metais encontrados nas terras raras. Desse modo, um dos desafios contemporâneos é transformar potencialidades territoriais presentes, no solo e subsolo, em capacidades produtivas complexas, capazes de gerar inovação, emprego e sustentabilidade.

A ausência de dados precisos sobre localização, volume e viabilidade econômica dificulta o planejamento de investimentos e a atração de parceiros industriais. Além disso, a baixa diversificação produtiva e a histórica dependência de commodities convencionais limitam o salto para atividades



intensivas em conhecimento, essenciais para a complexidade econômica. O conceito de complexidade econômica, desenvolvido por Hidalgo e Hausmann (2009), propõe que o desenvolvimento de um país depende da diversidade e sofisticação de suas capacidades produtivas. Araujo e Pires (2023) reforçam essa ideia quando associam a sustentabilidade à construção de sistemas territoriais complexos, nos quais o capital social, o conhecimento e as instituições interagem dinamicamente.

Sendo assim, os Arranjos Produtivos Locais (APLs) constituem uma estratégia relevante de desenvolvimento territorial. Segundo Araújo (2019), os APLs são sistemas territoriais de produção e inovação compostos por empresas, instituições e atores locais que interagem e cooperam visando o fortalecimento de competências coletivas, inovação tecnológica e sustentabilidade socioambiental.

Neste cenário, este artigo propõe investigar: De que forma o mapeamento das terras raras poderá contribuir para a complexidade econômica do país e região na formação de *clusters* produtivos? Para tanto, faz-se necessário delinear como objetivo central, a identificação das cadeias produtivas que podem emergir a partir da exploração estratégica desses metais, avaliando seu potencial para gerar encadeamentos industriais e, dessa forma, promover a inovação e o fortalecimento da competitividade nacional.

Abordar temáticas que contemplam as terras raras, não apenas sob a ótica geológica, mas como um eixo para políticas industriais ativas, implica na articulação de temas relacionados com a microeconomia, logística e complexidade econômica, suscitando por um lado, propostas de mapeamentos estratégicos como ferramentas para *clusterização* e, por outro, dando um caráter de contribuição original ao tema, especialmente em um contexto de globalização baseada em conhecimento e sustentabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Fazendo uma leitura da obra de Adam Smith, por ocasião da publicação em 1776, do livro intitulado, *A Riqueza das Nações*, o autor, revolucionou a economia ao defender não somente o livre mercado e as vantagens absolutas como alicerces do desenvolvimento. Embora crítico de Adam Smith, David Ricardo acreditava que aquilo que Smith definia com Vantagem Absoluta, deveria ser cunhada para Vantagem Comparativa, segundo a qual, Ricardo mostrou que mesmo quando um país é **mais eficiente em tudo** (tem vantagem absoluta em todos os produtos), ainda existe benefício no comércio internacional se cada país se especializar naquilo em que tem **menor custo relativo** (ou menor custo de oportunidade), o que David Ricardo definia como custo comparativo.

Se por um, lado, a ideia de livre mercado gerou e ainda gera muita controvérsia, a ideia de vantagens absolutas e comparativas, ganharam uma nova roupagem pois, dois séculos depois, esses princípios ganham nova dimensão com as terras raras, elementos críticos para a indústria de alta



tecnologia e a transição energética e trazendo a discussão a ideia de Michael E. Porter, com a Vantagem Competitiva das Nações e suas forças e barreiras competitivas.

Se no passado a riqueza das nações era medida em ouro ou commodities agrícolas, modernamente, ela se traduz em lítio, neodímio e ítrio – metais que irão definir a competitividade tecnológica e mesmo bélica no século XXI. A China, controlando 90% do mercado global, demonstrou como esses recursos podem ser alavancados para dominar cadeias produtivas estratégicas, desde turbinas eólicas até eletrônicos do cotidiano. Países como Brasil, com a segunda maior reserva mundial, têm agora a oportunidade de transformar essa vantagem comparativa em desenvolvimento industrial, desde que superem desafios tecnológicos e logísticos. Visto como um paralelo à ideia de Smith e Ricardo, a mera posse de recursos naturais não basta – é preciso capacidade de transformá-los em valor agregado o que dá um maior peso a ideia de Porter de vantagem competitiva.

Assim como o petróleo moldou a indústria e o desenvolvimento do século XX, os elementos obtidos nas terras raras serão o combustível da Quarta Revolução Industrial, com aplicações que vão de energias renováveis a sistemas de defesa. Essa dependência global criou uma nova geopolítica, onde nações se movem freneticamente para garantir suprimentos e reduzir vulnerabilidades, como evidenciam os investimentos bilionários dos EUA, Ásia, Oceania e as Américas, em busca de mineração alternativa.

Para países detentores desses recursos, o desafio vai além da extração: é preciso desenvolver cadeias produtivas integradas, desde a mineração até a fabricação de componentes tecnológicos. O exemplo chinês mostra que o sucesso está em políticas industriais ativas, como a criação de clusters especializados em processamento e manufatura. O Brasil, por sua vez, precisa urgentemente de um mapeamento estratégico de suas jazidas, políticas de incentivo ao processamento local e parcerias entre indústria e academia para não repetir o ciclo histórico de exportação de matérias-primas brutas.

A lição central de Smith permanece atual: a verdadeira riqueza das nações não está no que se extrai, mas no que se produz com esses recursos. Terras raras representam uma janela única para países em desenvolvimento acelerarem sua sofisticação econômica, desde que adotem estratégias claras de agregação de valor. A formação de arranjos produtivos locais - APLs, integrando mineração, processamento e indústria de alta tecnologia, pode ser o caminho para transformar vantagens comparativas estáticas em dinamismo econômico sustentável.

Para Araújo (2019), os APLs são estruturas intermediárias entre o local e o global, capazes de articular capital social, inovação e sustentabilidade. Sua competitividade baseia-se em capacidades territoriais e governança local.

Desta forma, visando dar consistência teoria a temática proposta, o presente artigo faz uma breve revisão teórica de temas relacionados com o fluxo das atividades econômicas e as vantagens comparativas, a busca das terras raras e a vantagem competitiva, a complexidade econômica e a



formação dos arranjos produtivos bem como a logística para uma nova industrialização face a exigência de coordenação entre Estado, empresas e centros de pesquisa, rompendo com a dependência de commodities tradicionais.

2.1 REVISITANDO OS CONCEITOS DE VANTAGENS ABSOLUTAS, VANTAGENS COMPARATIVAS E VANTAGENS COMPETITIVAS

A reflexão sobre comércio internacional e desenvolvimento produtivo atravessa séculos e continua a ser central no século XXI, sobretudo diante do papel estratégico das terras raras na economia global. Rodrigues (2009), em seu artigo, faz uma releitura dos aspectos que envolvem a formulação da vantagem absoluta descrita Adam Smith, passando pela vantagem comparativa de David Ricardo até a noção contemporânea de vantagem competitiva desenvolvida por Michael Porter, sendo possível perceber como as teorias se interconectam e se renovam diante das transformações geopolíticas e tecnológicas que vem acontecendo do século XVII até o final do século XX. As terras raras — um grupo de 17 elementos químicos essenciais para a produção de baterias, turbinas eólicas, painéis solares, veículos elétricos e equipamentos militares — passaram a constituir um excelente campo de análise neste início de século XXI, induzindo governos, firmas e academia a uma revisitação de tais conceitos em um contexto moderno.

Smith, em sua obra, *A Riqueza das Nações* (1776), defendia que cada país deveria se especializar na produção de bens em que possuísse vantagem absoluta, isto é, naqueles, cuja produtividade fosse superior em relação aos concorrentes internacionais. Em termos práticos, se um país conseguisse extrair determinado recurso natural com menor custo ou maior eficiência, ele deveria exportá-lo e importar outros bens em que fosse menos eficiente. Tal perspectiva ganha relevância ao se observar o domínio chinês sobre as terras raras, visto que, vários artigos: Rocio, et. al. (2012), Loureiro et.al. (2013), Rosental (2013). Sousa Filho e Serra, (2014), Braga (2014), Oliveira, et. al. (2025) e Dos Santos et. al. (2025), destacam que a China detém entre 90% e 97% da produção mundial, com custos relativamente baixos e tecnologia de processamento avançada, garantindo-lhe uma posição de vantagem absoluta na atual divisão internacional do trabalho conforme preconizava Smith (1983).

Ricardo (1821), por sua vez, em “*Princípios de Economia Política e Tributação*” publicado em 1817, ampliou o debate ao propor o conceito de vantagem comparativa, no qual o foco se desloca do custo absoluto para o custo relativo de produção. Mesmo que um país seja mais eficiente em todos os setores, o comércio ainda seria benéfico se cada nação se especializasse naquilo em que fosse relativamente mais eficiente. Fazendo uma releitura do pensamento Ricardiano para o contexto das terras raras, países com potencial de exploração das terras raras, embora não possuam a mesma capacidade produtiva da China, poderiam se inserir de forma vantajosa no mercado internacional ao



explorar nichos específicos, seja na mineração de determinados elementos menos abundantes em território chinês, seja no desenvolvimento de etapas intermediárias da cadeia produtiva.

Contudo, no século XXI, a noção de vantagem competitiva tornou-se central para compreender o posicionamento estratégico dos países e empresas. Porter, em *A Vantagem Competitiva das Nações* (1990), afirma que a competitividade resulta não apenas da dotação natural de recursos, mas também da capacidade de inovação, da qualidade das instituições e da criação de clusters industriais que promovam eficiência e inovação contínua. Assim, países que não detêm as maiores reservas de terras raras podem, ainda assim, criar vantagens competitivas duradouras ao investir em tecnologia de reciclagem, substituição de materiais e no desenvolvimento de cadeias produtivas mais sustentáveis corroborando com as premissas de Porter (1990).

Nesse sentido, o Brasil, que segundo Loureiro et.al. (2013) apresenta um caso particular, que mesmo, sendo detentor da segunda maior reserva de terras raras do mundo, o país ainda carece de uma estrutura robusta para transformar esse potencial geológico em vantagens efetivas no cenário global. O desafio brasileiro consiste em superar a dependência de exportações de baixo valor agregado e construir capacidades tecnológicas que lhe permitam avançar no beneficiamento e na industrialização dos minerais estratégicos. A ausência de políticas industriais consistentes e a escassez de investimentos em pesquisa e desenvolvimento dificultam a transformação de uma vantagem absoluta potencial em vantagem comparativa efetiva e, sobretudo, em vantagem competitiva sustentável.

A análise também não pode prescindir da dimensão geopolítica. Nos últimos anos, tensões comerciais entre Estados Unidos e China colocaram as terras raras no centro das estratégias de segurança nacional. Os EUA, ainda que tenham reservas e capacidade tecnológica, dependem em grande medida das importações chinesas, o que os torna vulneráveis em setores críticos, como o de defesa e de tecnologias limpas. Nesse contexto, a busca por novos fornecedores, como Austrália e Brasil, e o investimento em tecnologias de reciclagem tornam-se imperativos para reduzir riscos associados a essa concentração de mercado (Moran, 2021).

Assim, revisitar os conceitos clássicos de Smith e Ricardo à luz da contribuição moderna de Porter revela como o comércio internacional de terras raras é marcado por tensões entre dotação natural, eficiência relativa e capacidade de inovação. A vantagem absoluta chinesa na produção, a possibilidade de vantagens comparativas para países emergentes e a corrida por vantagens competitivas via tecnologia e inovação formam o tripé que sustenta a atual configuração desse mercado estratégico.

Dessa forma, compreender o papel das terras raras na economia do século XXI exige articular as três dimensões:

- I. **Vantagem Absoluta** – representada pelo domínio chinês em termos de volume e custos de produção.



- II. **Vantagem Comparativa** – associada às possibilidades de inserção de outros países em nichos produtivos e etapas da cadeia.
- III. **Vantagem Competitiva** – dependente da capacidade de inovação, políticas industriais, sustentabilidade e desenvolvimento tecnológico.

Esse cenário mostra que a teoria econômica não é estática: cada conceito, ao ser reinterpretado no contexto das terras raras, fornece uma lente complementar para entender as disputas em torno de um recurso que simboliza os dilemas do desenvolvimento sustentável e da soberania no século XXI.

2.2 O PROCESSO DE DESINDUSTRIALIZAÇÃO DO BRASIL E A NOVA POSSIBILIDADE DE REINDUSTRIALIZAÇÃO COM AS TERRAS RARAS

O processo de industrialização brasileiro, iniciado de forma mais robusta a partir da década de 1930 com a política varguista de substituição de importações, representou um marco na formação da estrutura produtiva nacional. A criação de empresas estatais estratégicas, como a Companhia Siderúrgica Nacional e a Petrobras, além da instalação de indústrias automobilísticas e químicas, configurou um ciclo de crescimento que se estendeu até a década de 1980. Contudo, a partir das transformações econômicas e políticas desse período, observa-se um fenômeno que especialistas denominam **desindustrialização precoce**, caracterizado pela perda relativa da indústria de transformação no Produto Interno Bruto (PIB) antes de o país atingir níveis elevados de renda per capita (Oreiro; Feijó, 2010).

A desindustrialização brasileira está associada a múltiplos fatores. Primeiramente, a abertura comercial dos anos 1990 expôs a indústria nacional à competição externa sem que houvesse uma política industrial consistente de proteção e adaptação tecnológica. Além disso, o fenômeno da **doença holandesa (grifo nosso)**, decorrente da valorização cambial induzida pela exportação de commodities, tornou as exportações manufatureiras menos competitivas (Bresser-Pereira, 2008). Some-se a isso o baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento e a ausência de uma política coordenada de inovação, elementos que fragilizaram a inserção do Brasil nas cadeias globais de valor (Cano, 2012, 2021).

Os efeitos desse processo são visíveis: queda na participação da indústria de transformação de mais de 27% do PIB em 1985 para cerca de 11% em 2020, aumento da reprimarização da pauta exportadora e a consolidação de um modelo econômico excessivamente dependente de recursos naturais e produtos básicos (Bonelli; Pessôa; Matos, 2021). Essa trajetória não apenas compromete a geração de empregos de alta qualificação, como também restringe a capacidade do país em promover crescimento sustentado e inovação tecnológica.



Entretanto, a conjuntura internacional do século XXI abre novas possibilidades para o Brasil. O contexto da transição energética e da revolução tecnológica elevou a demanda por **terras raras**, elementos essenciais para a produção de turbinas eólicas, veículos elétricos, baterias de lítio, painéis solares e equipamentos de alta tecnologia. A China, responsável por cerca de 60% da produção global, domina a cadeia produtiva, mas o risco de concentração geopolítica e a busca por diversificação de fornecedores tornam países como o Brasil estratégicos (Moran, 2021).

Sites especializado no assunto, colocam o Brasil como detentor da **segunda maior reserva mundial de terras raras**, com destaque para depósitos em Minas Gerais, Goiás, Bahia e Amazônia. Apesar disso, ainda não consolidou uma cadeia produtiva integrada capaz de transformar a disponibilidade geológica em ganhos industriais. O desafio central é evitar que esses recursos sejam explorados apenas como commodities, repetindo o padrão de dependência observado em outros ciclos de exportação de bens primários (Pistilli (2025).

Nesse sentido, a possibilidade de uma **reindustrialização baseada nas terras raras** passa pela articulação de políticas industriais, tecnológicas e ambientais. Inspirando-se no conceito de **vantagem competitiva** de Porter (1990), o Brasil precisaria investir em inovação, capacitação tecnológica, sustentabilidade e criação de clusters industriais especializados. Isso inclui desde a mineração sustentável até o beneficiamento, a separação de óxidos e a produção de insumos intermediários para setores de alta tecnologia.

Além disso, a cooperação entre universidades, centros de pesquisa e empresas privadas é fundamental para superar o déficit tecnológico. A chamada **tríplice hélice (grifo nosso), modelo que defende a relação mais ativa entre universidade-empresa-governo**, pode criar um ambiente de inovação que garanta não apenas a exploração, mas a transformação das terras raras em insumos estratégicos para a indústria nacional (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000). Essa perspectiva permitiria reposicionar o Brasil nas cadeias globais, reduzindo a dependência da exportação de produtos básicos e elevando o nível de sofisticação tecnológica do país.

Do ponto de vista geopolítico, a diversificação da oferta mundial de terras raras coloca o Brasil em uma posição estratégica. Os Estados Unidos e a União Europeia já manifestaram interesse em parcerias para reduzir a dependência da China, o que pode abrir espaço para acordos comerciais, investimentos externos e cooperação tecnológica (Kalantzis, 2022). Contudo, para que essa oportunidade se materialize em reindustrialização, o país precisa estruturar uma governança que evite a captura dos recursos por interesses externos sem agregação de valor interno.

Outro ponto relevante é a dimensão ambiental. A extração e o beneficiamento das terras raras envolvem riscos de poluição por resíduos radioativos e uso intensivo de recursos hídricos. Assim, a construção de uma indústria de terras raras deve estar alinhada às normas internacionais de sustentabilidade e às demandas da sociedade brasileira por preservação ambiental. Nesse contexto, a



reindustrialização verde (grifo nosso), pautada em inovação e responsabilidade socioambiental, pode se tornar um diferencial competitivo (OECD, 2020).

Portanto, a **reindustrialização com base nas terras raras** representa uma oportunidade histórica para o Brasil reverter o processo de desindustrialização precoce. Trata-se de uma janela estratégica que exige planejamento de longo prazo, políticas públicas consistentes e integração entre atores econômicos, sociais e ambientais. A transformação das reservas de terras raras em cadeias produtivas complexas pode recolocar a indústria brasileira em patamar de destaque internacional, garantindo não apenas crescimento econômico, mas também soberania tecnológica e sustentabilidade.

2.3 AS POSSIBILIDADES DE FORMAÇÃO DOS ARRANJOS PRODUTIVOS PARA “VANTAGEM COMPETITIVA DAS NAÇÕES” A PARTIR DAS TERRAS RARAS

A discussão sobre os fatores que garantem a competitividade das nações no século XXI passa inevitavelmente pela análise dos recursos estratégicos que moldam a nova economia global. Entre esses recursos, as **terras raras** assumem papel central, pois constituem insumos fundamentais para tecnologias emergentes, desde a transição energética até a indústria da defesa. A concentração geográfica de sua produção, somada à crescente demanda mundial, faz com que a análise sobre **arranjos produtivos locais (APLs)** se torne indispensável para refletir sobre as condições que podem permitir aos países transformarem reservas minerais em **vantagens competitivas** sustentáveis.

Segundo Porter (1990), as vantagens competitivas das nações não derivam exclusivamente da dotação de fatores naturais, mas da capacidade de organizar setores produtivos em *clusters* que potencializam inovação, eficiência e aprendizado coletivo. Nesse sentido, o debate sobre os APLs de terras raras ultrapassa a questão geológica e envolve a constituição de redes produtivas articuladas entre Estado, empresas privadas, universidades e centros de pesquisa.

A China, principal produtora mundial, ilustra essa dinâmica. A partir de políticas industriais consistentes, o país estruturou verdadeiros complexos produtivos que integram a extração, o beneficiamento e a aplicação das terras raras em produtos de alta tecnologia, como ímãs permanentes e baterias de lítio. Esse processo demonstra como a vantagem absoluta na disponibilidade de recursos foi convertida em **vantagem competitiva**, a partir da construção de arranjos produtivos que fortalecem a liderança tecnológica e o domínio de mercados estratégicos (Moran, 2021).

No caso brasileiro, o desafio é transformar seu potencial geológico — o país possui a segunda maior reserva mundial de terras raras — em um arranjo produtivo que permita maior inserção na economia global. Bresser- Pereira (2007) argumenta que a abundância de recursos naturais não garante, por si só, desenvolvimento econômico. É necessário criar condições institucionais e tecnológicas que ampliem o valor agregado das exportações, rompendo a histórica dependência de commodities minerais de baixo processamento.



Para tanto, a formação de APLs no Brasil deve priorizar políticas de incentivo à pesquisa, ao desenvolvimento tecnológico e à formação de mão de obra qualificada. Inspirado no modelo da **Tríplice Hélice** (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000), é fundamental que Estado, universidades e setor produtivo atuem de forma coordenada. Nesse arranjo, o Estado assume o papel de indutor inicial, fornecendo infraestrutura e marcos regulatórios; as universidades e centros de pesquisa contribuem com conhecimento científico; e as empresas operam como agentes de inovação aplicada e comercialização.

Outro aspecto relevante é a diversificação da cadeia. Moran (2021) aponta que a concentração da China cria vulnerabilidades para outros países, como Estados Unidos, Japão e União Europeia. Isso abre espaço para que países com reservas relevantes, como Brasil, Índia e Austrália, construam **vantagens competitivas regionais** ao estabelecer arranjos produtivos capazes de reduzir a dependência mundial de um único fornecedor. Essa estratégia, no entanto, exige superar obstáculos históricos, como a burocracia estatal, a falta de políticas industriais de longo prazo e a dependência tecnológica de insumos importados.

A constituição de APLs de terras raras também precisa incorporar a dimensão da sustentabilidade. As atividades de mineração e beneficiamento desses minerais apresentam impactos ambientais significativos, que podem comprometer a legitimidade social e política dos empreendimentos. Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias limpas e a criação de mecanismos de economia circular, como a reciclagem de terras raras contidas em equipamentos eletrônicos descartados, devem ser parte integrante dos arranjos produtivos. Essa orientação fortalece a competitividade ao alinhar os APLs às exigências ambientais internacionais, cada vez mais rígidas (Porter; Linde, 1995).

Além disso, a formação de arranjos produtivos não deve se restringir às fronteiras nacionais. No mundo globalizado, a constituição de cadeias regionais integradas pode representar alternativa viável para a inserção de países emergentes no mercado de terras raras. Iniciativas de cooperação Sul-Sul, por exemplo, poderiam unir as capacidades geológicas do Brasil com os avanços tecnológicos da Índia, criando sinergias para a produção de componentes de maior valor agregado. Essa lógica reforça a perspectiva de que a vantagem competitiva não é apenas nacional, mas pode ser construída de forma cooperativa em escala regional.

Por fim, revisitar o conceito de vantagens competitivas a partir das terras raras permite reconhecer que a formação de arranjos produtivos é o caminho mais consistente para transformar reservas minerais em desenvolvimento socioeconômico. A experiência chinesa evidencia que a simples posse de recursos não garante liderança global. O Brasil, assim como outros países dotados de reservas estratégicas, enfrenta o dilema de permanecer exportador de commodities ou investir na



estruturação de APLs que promovam inovação, sustentabilidade e inserção qualificada nas cadeias globais de valor.

2.4 O MOVIMENTO DA TRÍPLICE HÉLICE PARA A SUSTENTAÇÃO DA EXPLORAÇÃO E APROVEITAMENTO DAS TERRAS RARAS NO BRASIL

O debate acerca das terras raras insere-se no contexto mais amplo das transformações produtivas e tecnológicas do século XXI. Esses elementos químicos, indispensáveis para a produção de baterias, turbinas eólicas, veículos elétricos, semicondutores e dispositivos de defesa, ocupam posição estratégica nas agendas de soberania energética e tecnológica. O Brasil, detentor da segunda maior reserva mundial, enfrenta o desafio de transformar esse potencial geológico em vantagem competitiva. Nesse cenário, o **modelo da Tríplice Hélice**, que propõe a interação entre **Estado, universidades e setor produtivo**, emerge como um caminho para alinhar inovação, sustentabilidade e desenvolvimento industrial (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000).

A origem do modelo da Tríplice Hélice remonta à necessidade de superar o modelo linear de inovação, no qual a universidade era apenas um espaço de geração de conhecimento, sem conexões sólidas com a indústria ou com políticas públicas. A proposta de Etzkowitz e Leydesdorff (2000) sugere que a inovação só alcança impacto social e econômico significativo quando há **sinergia entre as esferas acadêmica, governamental e produtiva**. No caso das terras raras, esse movimento é essencial, visto que a simples extração mineral não garante desenvolvimento sustentável, mas pode, ao contrário, reproduzir a dependência de exportação de commodities de baixo valor agregado.

O **papel do Estado** é crucial para coordenar políticas industriais, ambientais e tecnológicas. Em um mercado altamente concentrado, no qual a China responde por cerca de 90% da produção mundial (Moran, 2021), o Brasil precisa de uma atuação estatal capaz de articular incentivos fiscais, regulação ambiental e investimentos estratégicos em infraestrutura e tecnologia. A ausência de uma política nacional consistente para o setor tem limitado a capacidade brasileira de inserir-se nas cadeias globais de valor de forma competitiva.

Já a **Universidade** ocupa posição estratégica na produção de conhecimento científico e tecnológico. A pesquisa em geologia, engenharia de materiais e química de processos é indispensável para o avanço do beneficiamento e da separação dos minerais, etapas nas quais o Brasil ainda é dependente de tecnologia estrangeira. Como observam Albuquerque e Cassiolato (2002), a inovação em países periféricos exige um esforço sistemático de capacitação científica, aproximando a pesquisa acadêmica das demandas industriais. Nesse sentido, o investimento em programas de pós-graduação, laboratórios de ponta e cooperação internacional é um eixo da tríplice hélice que não pode ser negligenciado.



O **setor produtivo**, por sua vez, é responsável por transformar ciência em produtos, processos e serviços. No caso das terras raras, empresas de mineração, metalurgia e tecnologia precisam assumir o compromisso de investir em inovação e adotar práticas de responsabilidade socioambiental. A exploração desses elementos traz riscos ambientais significativos, como a geração de rejeitos radioativos e a contaminação do solo e da água (Humphries, 2013). Assim, a integração com universidades e a regulação governamental deve induzir práticas sustentáveis, reduzindo externalidades negativas e ampliando a aceitação social da atividade mineradora.

Um aspecto essencial é a **sustentabilidade ambiental**. O movimento da tríplice hélice aplicado às terras raras precisa considerar, além da competitividade, o impacto sobre ecossistemas e comunidades locais. Sachs (2008) enfatiza que não há desenvolvimento sem sustentabilidade, e nesse campo a inovação tecnológica pode ser decisiva. Processos mais limpos de separação mineral, técnicas de reciclagem e uso eficiente dos recursos são dimensões nas quais a tríplice hélice pode gerar avanços concretos.

No plano geopolítico, a tríplice hélice brasileira deve também alinhar-se a estratégias internacionais de cooperação e diversificação. Com a crescente demanda por energias renováveis e eletrificação da economia, as terras raras assumem papel cada vez mais estratégico. O Brasil, ao articular governo, universidade e setor produtivo, pode reduzir sua dependência tecnológica, ampliar a soberania nacional e tornar-se um ator relevante em um mercado global em transformação conforme preconiza Porter, (1990) em sua obra “*A vantagem competitiva das nações*”.

O desafio maior reside na transição de uma **vantagem absoluta potencial** — representada pelas reservas abundantes — para uma **vantagem comparativa efetiva** e, finalmente, para uma **vantagem competitiva sustentável**, baseada em inovação, governança ambiental e inserção estratégica nas cadeias globais de valor (Rodrigues 2009). Isso só será possível com a consolidação de políticas públicas de longo prazo que fortaleçam a tríplice hélice no Brasil.

Portanto, revisitar o modelo da Tríplice Hélice de Etzkowitz e Leydesdorff (2000) na perspectiva da exploração e aproveitamento das terras raras no Brasil significa pensar em uma **estratégia integrada**, capaz de alinhar soberania nacional, inovação tecnológica e responsabilidade ambiental. A interação entre Estado, universidade e setor produtivo não é apenas um ideal teórico, mas uma necessidade prática diante da centralidade que esses elementos químicos assumem para o futuro da transição energética e para a competitividade global.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Trata-se de uma pesquisa qualitativa, exploratória e bibliográfica, fundamentada em revisão de literatura sobre desenvolvimento sustentável, complexidade econômica, APLs e terras raras. A partir da discussão realizada sobre a utilização dos metais raros na indústria 4.0 para a manufatura de bens



de alta tecnologia, o presente artigo fez um levantamento dos elementos contidos nas terras raras, conforme descrito na literatura, para então rastrear os produtos que priorizam os metais raros na nova indústria tecnológica para então verificar o potencial de desenvolvimento industrial contemplados pela exploração das terras raras. Embora os itens encontrados das terras raras estejam listados entre 16 ou 17 elementos, este estudo ainda listou outros elementos capazes de alavancarem a reindustrialização do Brasil.

Apresentado a lista de elementos, suas potencialidades industriais e aplicabilidades, faz-se uma conclusão elencando os pontos relevantes da exploração dos metais raros bem como os desafios a serem enfrentados para aproveitamento da nova indústria 4.0

4 ANÁLISE DA PESQUISA

Dentre listas de elementos da tabela periódica considerados nobres no processo da nova indústria de alta tecnologia, foram analisados os seguintes elementos: Lantânio (La), Cério (Ce), Praseodímio (Pr), Neodímio (Nd), Promécio (Pm), Samário (Sm), Európio (Eu); Gadolínio (Gd); Térbio (Tb), Disprósio (Dy), Hólmio (Ho), Érbio (Er), Túlio (Tm), Itérbio (Yb), Lutécio (Lu), Ítrio (Y), Escândio (Sc), Nióbio (Nb), Urânio (U), Cobalto (Co), Ouro (Au), Prata (Ag), Cobre (Cu) e o Lítio (Li).

Entende-se que em maior ou menor escala, esses elementos, dispersos pelo mundo, nas mais variadas regiões, tem privilegiado algumas regiões e detrimento de outras. Contudo, conforme ficou evidenciado na revisão bibliográfica, nem todos os países do mundo possuem tecnologia e processos industriais para extrair esses elementos da natureza pelas mais diversas razões.

O quadro 1, a seguir, apresenta um panorama do processo de extração e industrialização desses novos elementos da indústria 4.0.



Quadro 1: Metais Raros na Nova Indústria

| Elementos (Terras Raras) | Processo de Extração | Indústria que utilizam | Produtos que utilizam | Principais Países Produtores | Percentual da Reserva por País | Potencial da Cadeia Produtiva | Aplicabilidade nos Setores Industriais | Nível de Complexidade Econômica |
|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|-------------------------------------|---|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Lantânio (La) | Mineração e separação química | Catalisadores, lentes | Catalisadores, lentes de câmeras | China, Brasil, EUA | China 50%, Brasil 20%, EUA 15%, Outros 15% | Alto | Automotivo, Óptico | Alta |
| Cério (Ce) | Mineração e separação química | Polimento e catalisadores | Polimento de vidro, catalisadores | China, EUA, Rússia | China 55%, EUA 20%, Rússia 10%, Outros 15% | Alto | Catalisadores, Polimento | Alta |
| Praseodímio (Pr) | Mineração e separação química | Tecnologia e Energia | Ímãs de alto desempenho | China, EUA, Índia | China 65%, EUA 15%, Índia 10%, Outros 10% | Alto | Tecnologia, Energia | Alta |
| Neodímio (Nd) | Mineração e separação química | Ímãs e energia renovável | Ímãs para turbinas e veículos elétricos | China, Brasil, EUA | China 60%, Brasil 15%, EUA 15%, Outros 10% | Alto | Energias Renováveis, Ímãs | Alta |
| Promécio (Pm) | Mineração e separação química | Aplicações nucleares | Reatores nucleares | China, Rússia | China 80%, Rússia 10%, Outros 10% | Baixo | Nuclear | Média |
| Samário (Sm) | Mineração e separação química | Ímãs permanentes | Ímãs, fones de ouvido | China, EUA, Myanmar | China 60%, EUA 20%, Myanmar 10%, Outros 10% | Alto | Ímãs, Eletrônicos | Alta |
| Európio (Eu) | Mineração e separação química | Displays e iluminação | Lâmpadas fluorescentes | China, Rússia | China 70%, Rússia 15%, Outros 15% | Alto | Displays, Iluminação | Alta |
| Gadolínio (Gd) | Mineração e separação química | Imagem médica e ligas | Ressonância magnética | China, Brasil, EUA | China 55%, Brasil 15%, EUA 20%, Outros 10% | Médio | Medicina, Ligas | Alta |
| Térbio (Tb) | Mineração e separação química | Displays e iluminação | Displays LED | China, Austrália | China 65%, Austrália 20%, Outros 15% | Alto | Displays, Iluminação | Alta |
| Disprósio (Dy) | Mineração e separação química | Ímãs de alto desempenho | Ímãs para energia eólica | China, EUA | China 75%, EUA 15%, Outros 10% | Alto | Energias Renováveis, Defesa | Alta |
| Hólmio (Ho) | Mineração e separação química | Láser e fibras ópticas | Láser médico | China, Rússia | China 65%, Rússia 20%, Outros 15% | Médio | Telecomunicações, Lasers | Média |
| Érbio (Er) | Mineração e separação química | Fibras ópticas e telecom | Fibras ópticas | China, Índia | China 60%, Índia 20%, Outros 20% | Médio | Telecomunicações, Medicina | Média |
| Túlio (Tm) | Mineração e separação química | Equipamentos médicos | Equipamentos de imagem | China, EUA | China 70%, EUA 15%, Outros 15% | Baixo | Medicina, Lasers | Média |
| Íterbio (Yb) | Mineração e separação química | Ligas especiais e tecnologia | Ligas metálicas | China, Austrália | China 65%, Austrália 20%, Outros 15% | Médio | Ligas Metálicas, Tecnologia | Média |
| Lutécio (Lu) | Mineração e separação química | Catalisadores e lasers | Láseres de precisão | China, EUA | China 60%, EUA 25%, Outros 15% | Baixo | Lasers, Química Fina | Média |
| Ítrio (Y) | Mineração e separação química | Cerâmica e supercondutores | Cerâmica, supercondutores | China, Índia, Malásia | China 65%, Índia 20%, Malásia 15% | Alto | Cerâmica, Supercondutores | Alta |
| Escândio (Sc) | Mineração e separação química | Ligas leves para aviação | Estruturas aeronáuticas | China, Brasil, Austrália | China 55%, Brasil 20%, Austrália 15%, Outros 10% | Médio | Aviação, Ligas Leves | Alta |
| Nióbio (Nb) | Mineração e beneficiamento | Metalurgia e tecnologia | Aços especiais, turbinas | Brasil, Canadá | Brasil 90%, Canadá 10% | Alto | Siderurgia, Aeroespacial | Alta |
| Urânio (U) | Extração e enriquecimento | Energia nuclear | Combustível nuclear | Cazaquistão, Canadá, Brasil | Cazaquistão 40%, Canadá 20%, Brasil 15%, Outros 25% | Alto | Energia Nuclear | Alta |
| Cobalto (Co) | Mineração e separação | Baterias e ligas metálicas | Baterias de íons, ligas | Congo, Rússia, Austrália | Congo 70%, Rússia 10%, Outros 20% | Alto | Baterias, Metalurgia | Alta |
| Ouro (Au) | Mineração e refino | Jóias e eletrônicos | Joalheria, chips eletrônicos | China, África do Sul, Austrália | China 12%, África do Sul 10%, Outros 78% | Médio | Jóias, Eletrônicos | Média |
| Prata (Ag) | Mineração e refino | Jóias e eletrônicos | Joalheria, componentes eletrônicos | México, Peru, China | México 30%, Peru 20%, China 15%, Outros 35% | Médio | Jóias, Eletrônicos | Média |
| Cobre (Cu) | Mineração e fundição | Eletrônica e construção | Fiação elétrica, componentes | Chile, Peru, China | Chile 30%, Peru 20%, China 15%, Outros 35% | Alto | Construção, Eletrônica | Média |
| Lítio (Li) | Mineração e processamento químico | Baterias e energia renovável | Baterias para carros elétricos | Chile, Austrália, Argentina, Brasil | Chile 40%, Austrália 30%, Argentina 20%, Brasil 10% | Alto | Baterias, Energias Renováveis | Alta |

Fonte: Adaptado pelos autores (2025), a partir de Rocio, et. al. (2012), Loureiro et.al. (2013), Rosental (2013). Sousa Filho e Serra, (2014), Braga (2014), Oliveira, et. al. (2025) e Dos Santos et. al. (2025),

A leitura do quadro 1, da cadeia produtiva dos elementos de terras raras revela o novo eixo tecnológico e geoeconômico que estrutura a Indústria 4.0 no mundo. Os elementos listados — como Neodímio, Praseodímio, Disprósio, Térbio, Ítrio, Gadolínio e Lantânio — são essenciais para a produção de motores elétricos, turbinas eólicas, displays, ligas metálicas, semicondutores e dispositivos ópticos. Essa relação direta entre os metais e os setores de alta tecnologia explica a concentração da produção mundial em países que já dominam as etapas de refino e transformação, como China, EUA, Japão e Austrália, responsáveis por mais de 97% do mercado global. A liderança chinesa decorre de uma política industrial articulada, que alia domínio técnico, incentivos à inovação



e verticalização da cadeia — do minério ao produto final — criando uma vantagem competitiva quase intransponível.

No Brasil, a situação é paradoxal. O país possui a segunda maior reserva mundial de terras raras, distribuída entre Minas Gerais, Goiás, Amazonas e Bahia, mas sua participação na cadeia de valor é periférica. A coluna “Percentual da Reserva por País” demonstra potencial geológico relevante — com até 20% em certos elementos, como Neodímio e Gadolínio —, mas o “Potencial da Cadeia Produtiva” e o “Nível de Complexidade Econômica” revelam fragilidades estruturais: falta de tecnologia de separação química, carência de laboratórios de ponta e dependência de insumos importados. Isso coloca o Brasil como exportador potencial de matéria-prima, mas não como produtor de tecnologia, repetindo o ciclo histórico da reprimarização econômica.

A análise das colunas “Processo de Extração” e “Indústria que utilizam” indica que os elementos com maior valor agregado dependem de mineração seguida de processamento químico e beneficiamento de alta precisão — etapas que requerem domínio científico e engenharia avançada. Países como China e EUA combinam políticas de incentivo à pesquisa com formação de profissionais especializados, enquanto o Brasil ainda enfrenta um déficit expressivo na formação de engenheiros químicos, de minas e geólogos. Com investimentos em educação abaixo de 3% do PIB, a capacidade de converter abundância mineral em desenvolvimento tecnológico permanece limitada. Assim, o país figura mais como fornecedor de insumos estratégicos do que como protagonista na manufatura de produtos tecnológicos. (ETRS, 2025)

No cenário mundial, a distribuição do “Potencial da Cadeia Produtiva” e da “Aplicabilidade nos Setores Industriais” evidencia uma nova hierarquia global: as nações que dominam o conhecimento científico detêm também o poder econômico e geopolítico. Elementos como Neodímio, Disprósio e Lítio são pilares da transição energética e da mobilidade elétrica, enquanto Lantânio e Cério são fundamentais para a ótica e a catálise industrial. A guerra comercial entre Estados Unidos e China, por exemplo, tem nesses minerais um de seus epicentros estratégicos, já que o domínio de suas cadeias garante soberania tecnológica e influência militar. (ETRS, 2025)

Para o Brasil, o quadro sugere tanto oportunidades quanto ameaças. A oportunidade está na possibilidade de integrar-se à nova economia verde, fomentando arranjos produtivos locais, parcerias tecnológicas e políticas de incentivo à industrialização sustentável. Mas há ameaças significativas: impactos ambientais severos, ausência de marcos regulatórios claros e vulnerabilidade frente à dependência tecnológica estrangeira. A extração de terras raras, quando realizada sem controle ambiental, pode gerar rejeitos radioativos e contaminação de aquíferos, exigindo uma política de mineração sustentável e um sistema de monitoramento rigoroso.

Por fim, fica evidente de que, a relação das variáveis do quadro demonstra que a vantagem competitiva no século XXI não será apenas geológica, mas cognitiva e tecnológica. O Brasil detém



recursos, mas precisa transformar conhecimento em poder produtivo, sob pena da reedição dos ciclos do pau-brasil, da cana-de-açúcar, do ouro, da borracha e dos recentes ciclos da soja, do milho e outras commodities que assolam o desenvolvimento industrial do Brasil. O futuro dependerá da capacidade de país investir em pesquisa, educação e inovação para que seus minerais estratégicos deixem de ser apenas riquezas enterradas e se tornem a base de uma nova reindustrialização verde e soberana. Que as terras raras não se convertam em terras arrasadas.

5 CONCLUSÕES

A análise sobre o papel estratégico das terras raras para o Brasil permite compreender que esses elementos não representam apenas um novo ciclo extrativo, mas uma oportunidade histórica de reposicionar o país na economia global, especialmente em um contexto de transição energética e tecnológica. A indústria 4.0, alicerçada em inteligência artificial, automação, robótica avançada, semicondutores e sistemas de energia limpa, depende fortemente desses minerais. Eles são a base física do avanço tecnológico contemporâneo, sem os quais não seria possível fabricar motores elétricos, turbinas eólicas, painéis solares, baterias de lítio, sensores, supercondutores e equipamentos médicos de última geração. Nesse sentido, o aproveitamento estratégico das terras raras ultrapassa o campo da mineração — é um eixo de política industrial, científica e tecnológica que poderá redefinir o futuro produtivo nacional.

A retomada da competitividade industrial brasileira exige um salto qualitativo. Desde a década de 1980, o país perdeu densidade produtiva e tecnológica, assistindo à retração de sua indústria de transformação e ao avanço da reprimarização exportadora. A reindustrialização baseada em minerais críticos, como os elementos de terras raras, abre caminho para a criação de uma nova base produtiva complexa, capaz de impulsionar o desenvolvimento de setores de alto valor agregado. Com planejamento, governança e investimento em inovação, o Brasil pode ascender ao grupo das principais potências industriais — alcançando, em perspectiva, o posto de quarta ou quinta maior economia industrial do planeta. Essa projeção, entretanto, depende de uma inflexão estratégica que uma Estado, universidades, centros de pesquisa e setor privado em torno de um projeto nacional de ciência e tecnologia.

As terras raras oferecem ao país a chance de reduzir a dependência histórica das commodities tradicionais e integrar-se a cadeias globais de valor mais sofisticadas. Os resultados da análise SWOT (sigla em inglês para *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças)) realizada por ETRS (2025) reforçam essa leitura: entre os pontos fortes, destacam-se a abundância de reservas, a demanda global crescente e o potencial de agregação de valor industrial. O Brasil detém uma das maiores reservas conhecidas, distribuídas entre Minas Gerais, Goiás, Amazonas e Bahia, o que lhe confere poder de barganha geopolítico e capacidade para se tornar



protagonista na produção sustentável desses insumos. Além disso, a diversificação da matriz produtiva pode ampliar o PIB industrial, gerar empregos de alta qualificação e estimular a inovação em setores emergentes, como energias limpas e defesa tecnológica.

Todavia, o estudo também evidencia pontos fracos que comprometem o aproveitamento pleno desse potencial. A dependência tecnológica, a carência de infraestrutura adequada e a falta de profissionais especializados configuram gargalos estruturais. O país forma poucos engenheiros químicos, engenheiros de minas e geólogos, e, com investimento público em educação abaixo de 3% do PIB, torna-se inviável sustentar a ambição de liderar uma indústria de alta tecnologia. As poucas “ilhas de excelência” — como a Embraer, a Petrobras e a Vale — demonstram que o conhecimento e a inovação são capazes de romper o atraso estrutural, mas permanecem exceções isoladas em um sistema educacional e científico fragmentado. É urgente, portanto, revisar o Projeto Brasil, redefinindo prioridades educacionais e industriais para formar capital humano e intelectual compatível com as exigências do novo paradigma produtivo.

As oportunidades associadas à exploração das terras raras são múltiplas. A transição energética global cria um mercado em expansão para carros elétricos, turbinas eólicas, painéis solares e sistemas de armazenamento de energia, produtos que dependem diretamente desses elementos. O país pode se tornar polo estratégico para atrair investimentos estrangeiros, desde que estabeleça marcos regulatórios estáveis e condicione as parcerias externas à transferência efetiva de tecnologia. Esse é um ponto crucial: o Brasil não pode se limitar ao papel de fornecedor de matéria-prima bruta; deve exigir contrapartidas que envolvam capacitação técnica, produção local e inserção em estágios avançados da cadeia de valor. A experiência chinesa ilustra que a soberania tecnológica nasce da integração entre extração, beneficiamento e manufatura. Assim, acordos com Estados Unidos, União Europeia, Japão e outras nações devem ser construídos sob a lógica da cooperação tecnológica e não da dependência.

Por outro lado, é preciso reconhecer que nem tudo são flores. A mineração de terras raras possui um custo ambiental elevado, associado à geração de rejeitos tóxicos, radioativos e à contaminação de solos e lençóis freáticos. A exploração desordenada desses recursos, sem o devido controle ambiental e social, pode reproduzir o velho modelo predatório de desenvolvimento, que privilegia o lucro imediato e compromete o futuro. O desafio é aliar competitividade e sustentabilidade, adotando práticas de mineração limpa, reciclagem de materiais e políticas de economia circular. A reindustrialização verde — conceito que combina eficiência econômica e responsabilidade ecológica — deve guiar a construção dessa nova indústria nacional. A legitimidade social dos projetos dependerá do compromisso com o meio ambiente e com as comunidades locais afetadas.

As ameaças identificadas pela análise SWOT reforçam a necessidade de uma estratégia preventiva. O domínio chinês sobre o mercado mundial e o controle de cerca de 80% do refino global criam vulnerabilidades para novos produtores. Além disso, as tensões geopolíticas, a volatilidade de



preços e a pressão de movimentos ambientalistas podem inviabilizar projetos se não houver estabilidade regulatória e planejamento de longo prazo. Dessa forma, o Brasil precisa construir resiliência institucional e diversificar suas parcerias internacionais para reduzir a dependência de um único centro de poder econômico e tecnológico.

Para que a exploração das terras raras se traduza em desenvolvimento sustentável, é indispensável consolidar arranjos produtivos locais (APLs) voltados à inovação. Esses clusters, ao integrar universidades, indústrias e governo, podem acelerar a geração de conhecimento, agregar valor e promover desenvolvimento regional. Experiências bem-sucedidas no exterior mostram que o sucesso de um setor estratégico não depende apenas da disponibilidade de recursos naturais, mas da capacidade de criar um ecossistema de inovação. No Brasil, a articulação da Tríplice Hélice — universidade, empresa e Estado — pode garantir que a riqueza mineral se converta em riqueza tecnológica, social e ambiental. Essa integração será a base da soberania produtiva e do fortalecimento da competitividade nacional.

Em síntese, o futuro das terras raras no Brasil está intimamente ligado ao redesenho do modelo de desenvolvimento nacional. É preciso superar a lógica extrativista e adotar uma visão sistêmica que compreenda a mineração como parte de uma cadeia produtiva complexa. A partir do fortalecimento da educação científica, da infraestrutura tecnológica e da governança ambiental, o país poderá transformar sua abundância mineral em vetor de inovação e prosperidade. A economia do século XXI será pautada por conhecimento e tecnologia — e as terras raras são a matéria-prima dessa nova era. Contudo, sem planejamento, transferência de tecnologia, capacitação e responsabilidade ambiental, o Brasil corre o risco de assistir, mais uma vez, à exportação de sua riqueza e à importação de produtos acabados.

O desafio está lançado: transformar as terras raras em base para a reindustrialização, não apenas como recurso econômico, mas como projeto de nação. Um projeto que una sustentabilidade, soberania e inovação, projetando o Brasil como protagonista na economia da Indústria 4.0 e nas cadeias produtivas de alta tecnologia do futuro.



REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Eduardo; CASSIOLATO, José. Inovação e desenvolvimento: a experiência brasileira. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2002.

ARAÚJO, Mércia Cristina Gomes de. Recursos minerais estratégicos, atividade minerária e desenvolvimento econômico nacional: o caso dos elementos de terras raras (ETR). 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/27642> - Acesso em: 08/10/2025

ARAUJO, W. A de. Turismo, Desenvolvimento Local & Meio Ambiente: Aglomeração Produtiva & Indicadores de Sustentabilidade. 1. Ed. – Curitiba: Appris, 2019.

ARAUJO, W. A. de, PIRES, M. de M. Turismo Sustentável e Arranjo Produtivo Local: Mensurando a Sustentabilidade Ambiental Na Costa do Descobrimento. Revista Foco |Curitiba (PR)| v.16.n.9|e3025| p.01-25 -2023.

BONELLI, Regis; PESSÔA, Samuel; MATOS, Silvia. Desindustrialização no Brasil: fatos e interpretações. Rio de Janeiro: FGV IBRE, 2021.

BRAGA, Guilherme Bettio. A química das terras raras e suas potencialidades. São João del Rei, 2014. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/coqui/TCC/Monografia-TCC_Guilherme_B_Braga-20142.pdf Acesso em: 05/10/2025

BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. Doença Holandesa E Sua Neutralização: Uma Abordagem Ricardiana. Versão de 15 de dezembro, 2007. A versão inglesa deste paper foi publicada na Revista de Economia Política 28 (1): 47-71. Disponível em:<http://www.bresserpereira.org.br/papers/2007/07.26.Doen%C3%A7aHolandesa.15dezembro.pdf> . Acesso 20/09/2025

CANO, Wilson. A questão regional e urbana no Brasil / Adroaldo Quintela Santos ... [et al.] – São Paulo : Fundação Perseu Abramo : Editora Expressão Popular : ABED, 2021.608 p. : il. ; 23 cm. Disponível em: https://www.observatoriodasmetrolopes.net.br/wp-content/uploads/2021/10/Wilson-Cano_A-questao-regional-e-urbana-no-Brasil.pdf . Acesso em 20/09/202

CANO, Wilson. Industrialização, desindustrialização e políticas de desenvolvimento In: revista faac, Bauru, v. 1, n. 2, p. 155-164, out. 2011/mar. 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/Note01/Downloads/65-260-2-PB.pdf> . Acesso em 20/09/2025

DOS SANTOS, Jessé Castro et al. Terras Raras: Relevância Estratégica, Disputa Geopolítica e Potencial Econômico No no Garimpo Bom Futuro Localizado na Amazônia Ocidental. Revista DCS, v. 22, n. 83, p. e3433-e3433, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3433> - Acesso em: 15/10/2025

ETRS – Elementos de Terras Raras e Segurança Nacional: uma perspectiva estratégica. Blog In: Sistemas de Mineração Sustentáveis – Site de Critical Minerals, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://sustainableminingsystems.com/rare-earth-elements-and-national-security-a-strategic-perspective/>. Acesso em 20/09/2025

ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. Hélice Tríplice: Universidade - Indústria - Governo: Inovação em Movimento. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity. Harvard University, 2009.



HUMPHRIES, Marc. Rare earth elements: the global supply chain. Washington: Congressional Research Service, 2013.

KALANTZIS, Theodore. Critical Minerals and Geopolitics: The New Global Race for Rare Earths. London: Routledge, 2022.

LOUREIRO, Francisco Eduardo Lapidó et. al. O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras. CETEM/MCTI, 2013. Disponível em:
http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1505/1/reglobalizacao_das_TR.pdf - Acesso em: 09/10/2025

MORAN, Theodore. Rare Earths and National Security: U.S. Strategic Choices. Washington: Peterson Institute for International Economics, 2021. Disponível em:
<https://sustainableminingsystems.com/rare-earth-elements-and-national-security-a-strategic-perspective/> Acessado em 20/09/2025

OECD. Critical Raw Materials for the Green Transition. Paris: OECD Publishing, 2021.

OECD. The Circular Economy and Critical Materials. Paris: OECD Publishing, 2020.

OLIVEIRA, Ricardo Daher et al. A Busca das Terras Raras para o Desenvolvimento Regional: A Nova Fronteira Do Desenvolvimento Industrial. LUMEN ET VIRTUS, v. 16, n. 50, p. 9346-9364, 2025. Disponível em: <https://ojs.revistadcs.com/index.php/revista/article/view/3433> DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v22i83.3433> - Acesso em: 16/10/2025

OREIRO, José Luís; FEIJÓ, Carmem. Desindustrialização: conceituação, causas, consequências e o caso brasileiro. Revista de Economia Política, v. 30, n. 2, p. 219-232, 2010.

PISTILLI, Melissa. A China é o maior produtor de terras raras e também detém as maiores reservas de terras raras. Quais outros países entraram na lista? . IN: Site Especializado - Investing News NetworkY. 2025. Disponível em: <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/rare-earth-investing/rare-earth-reserves-country/> Acesso em 10/09/2025.

PORTER, Michael. A vantagem competitiva das nações. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

PORTER, Michael; LINDE, Claas van der. Green and Competitive: Ending the Stalemate. Harvard Business Review, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995.

RICARDO, David. Princípios de economia política e tributação. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

ROCIO, Marco Aurélio Ramalho et al. Terras-raras: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial, n. 35, mar. 2012, p. 369-420, 2012. Disponível em:
<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1527> Acesso em: 09/10/2025

RODRIGUES, Bruno Alencar. Pensamento liberal: da vantagem absoluta à competitiva. 2009. 92 f. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado)-Universidade Católica de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://tede2.pucgoias.edu.br/handle/tede/2855> - Acesso em: 05/10/2025

ROSENTAL, Simon. O Brasil e a reglobalização da indústria das terras raras. 2013. In: CETEM/MCTI – Capítulo 36, 2013. Disponível em:
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1140/1/36%20TERRAS%20RARAS%20ok.pdf> Acesso em: 10/10/2025



SACHS, Ignacy. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SMITH, Adam. A riqueza das nações: investigação sobre sua natureza e suas causas. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

SOUSA FILHO, Paulo C. de; GALAÇO, Ayla RBS; SERRA, Osvaldo A. Terras Raras: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. Química Nova, v. 42, n. 10, p. 1208-1224, 2019. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/rTyGfYXTkyyQB8QgQcmtJZy/?format=html&lang=pt> Acesso em: 08/10/2025

SOUSA FILHO, Paulo C. de; SERRA, Osvaldo A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. Química Nova, v. 37, p. 753-760, 2014. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/qn/a/rV5BjydbKvZFZcPhwktTVgf/?format=html&lang=pt>

<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140121> - Acesso em: 10/10/2025

