

## **TERRAS RARAS: RELEVÂNCIA ESTRATÉGICA, DISPUTA GEOPOLÍTICA E POTENCIAL ECONÔMICO NO GARIMPO BOM FUTURO LOCALIZADO NA AMAZÔNIA OCIDENTAL**

**RARE EARTHS: STRATEGIC RELEVANCE, GEOPOLITICAL DISPUTE AND ECONOMIC POTENTIAL IN THE BOM FUTURO MINE LOCATED IN THE WESTERN AMAZON**

**TIERRAS RARAS: RELEVANCIA ESTRATÉGICA, DISPUTA GEOPOLÍTICA Y POTENCIAL ECONÓMICO EN LA MINA BOM FUTURO UBICADA EN LA AMAZONÍA OCCIDENTAL**

**Jessé Castro dos Santos<sup>1</sup>, Gecelânia Dias de Souza Schmidt<sup>2</sup>, Jociel Honorato de Jesus<sup>3</sup>, Sylviane Beck Ribeiro<sup>4</sup>, Carolina de Albuquerque<sup>5</sup>**

---

DOI: 10.54899/dcs.v22i83.3433

Recibido: 24/09/2025 | Aceptado: 25/09/2025 | Publicación en línea: 06/10/2025.

### **RESUMO**

As chamadas terras raras representam um conjunto de 17 elementos químicos, incluindo os 15 lantanídeos, além do escândio e do ítrio. Suas características físico-químicas únicas, como forte magnetismo, emissão de luz e capacidade de catalisar reações, as tornam cruciais para o desenvolvimento de tecnologias avançadas. A junção da crescente procura mundial com a produção concentrada em poucos países elevou esses elementos ao patamar de recursos com grande peso geopolítico. Nesse cenário, o Garimpo Bom Futuro, situado em Ariquemes, Rondônia, surge como uma área com potencial para conter esses minerais, inserindo o Brasil em um contexto de interesse estratégico global. Esta pesquisa busca analisar a relevância estratégica, a disputa geopolítica e as possibilidades econômicas ligadas às terras raras no Garimpo Bom Futuro, englobando aspectos técnicos, socioeconômicos e ambientais. A metodologia utilizada se baseou em uma extensa pesquisa bibliográfica, reunindo artigos científicos, relatórios técnicos e dados de instituições geológicas, complementada por análises de mercado e avaliação de políticas públicas para a exploração desses recursos. Os resultados apontam para a existência de sinais geológicos promissores na área, cuja exploração de forma sustentável poderia ajudar na diversificação da economia local e no fortalecimento da posição do Brasil no mercado mundial. No entanto, ainda existem desafios tecnológicos, ambientais e regulatórios que restringem a

---

<sup>1</sup> Mestrando em Ciências Ambientais pela universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. E-mail: jessecastrosantos@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1420-6607>

<sup>2</sup> Mestranda em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Rolim de Moura, Rondônia, Brasil. E-mail: gecelanium@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-0611-9884>

<sup>3</sup> Doutorando em Geografia pela universidade Federal de Rondônia (UNIR), Porto Velho, Rondônia, Brasil. E-mail: jocielhonorato@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4588-2508>

<sup>4</sup> Doutora em doutorado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal de Rondônia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4882-8213>

<sup>5</sup> Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de São Paulo (USP), Doutora em Direito Político e Econômico pela UP Mackenzie, Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, Rondônia, Brasil. E-mail: kdalbuquerque@gmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8383-4972>

possibilidade imediata de um uso eficiente e responsável. A conclusão é que a exploração das terras raras no Garimpo Bom Futuro exige políticas públicas coordenadas, investimentos em pesquisa mineral e inovação tecnológica, bem como uma legislação consistente, que consiga equilibrar a competitividade econômica com a proteção socioambiental, conectando o potencial mineral brasileiro às necessidades estratégicas globais.

**Palavras-chave:** Terras Raras. Geopolítica. Garimpo Bom Futuro. Potencial Econômico. Sustentabilidade.

### ABSTRACT

Rare earths represent a group of 17 chemical elements, including the 15 lanthanides, as well as scandium and yttrium. Their unique physical and chemical characteristics, such as strong magnetism, light emission, and ability to catalyze reactions, make them crucial for the development of advanced technologies. The combination of growing global demand and production concentrated in a few countries has elevated these elements to the status of resources with significant geopolitical weight. In this scenario, the Bom Futuro mine, located in Ariquemes, Rondônia, emerges as an area with the potential to contain these minerals, placing Brazil within a context of global strategic interest. This research seeks to analyze the strategic relevance, geopolitical dispute, and economic possibilities associated with rare earths at the Bom Futuro mine, encompassing technical, socioeconomic, and environmental aspects. The methodology used was based on extensive bibliographic research, bringing together scientific articles, technical reports, and data from geological institutions, complemented by market analyses and evaluation of public policies for the exploration of these resources. The results indicate the existence of promising geological signals in the area, whose sustainable exploitation could help diversify the local economy and strengthen Brazil's position in the global market. However, technological, environmental, and regulatory challenges remain that limit the immediate possibility of efficient and responsible use. The conclusion is that rare earth exploration at Garimpo Bom Futuro requires coordinated public policies, investments in mineral research and technological innovation, as well as consistent legislation that balances economic competitiveness with socio-environmental protection, connecting Brazil's mineral potential to global strategic needs.

**Keywords:** Rare Earths. Geopolitics. Bom Futuro Mine. Economic Potential. Sustainability.

### RESUMEN

Las tierras raras representan un grupo de 17 elementos químicos, incluyendo los 15 lantánidos, además del escandio y el itrio. Sus características físicas y químicas únicas, como su fuerte magnetismo, emisión de luz y capacidad para catalizar reacciones, las hacen cruciales para el desarrollo de tecnologías avanzadas. La combinación de la creciente demanda mundial y la producción concentrada en unos pocos países ha elevado estos elementos a la categoría de recursos con un peso geopolítico significativo. En este escenario, la mina Bom Futuro, ubicada en Ariquemes, Rondônia, emerge como un área con potencial para contener estos minerales, lo que sitúa a Brasil en un contexto de interés estratégico global. Esta investigación busca analizar la relevancia estratégica, la disputa geopolítica y las posibilidades económicas asociadas con las tierras raras en la mina Bom Futuro, abarcando aspectos técnicos, socioeconómicos y ambientales. La metodología empleada se basó en una extensa investigación bibliográfica, que reunió artículos científicos, informes técnicos y datos de instituciones geológicas,

complementados con análisis de mercado y la evaluación de políticas públicas para la exploración de estos recursos. Los resultados indican la existencia de señales geológicas prometedoras en la zona, cuya explotación sostenible podría contribuir a diversificar la economía local y fortalecer la posición de Brasil en el mercado global. Sin embargo, persisten desafíos tecnológicos, ambientales y regulatorios que limitan la posibilidad inmediata de un uso eficiente y responsable. La conclusión es que la exploración de tierras raras en Garimpo Bom Futuro requiere políticas públicas coordinadas, inversiones en investigación minera e innovación tecnológica, así como una legislación consistente que equilibre la competitividad económica con la protección socioambiental, conectando el potencial mineral de Brasil con las necesidades estratégicas globales.

**Palabras clave:** Tierras Raras. Geopolítica. Mina Bom Futuro. Potencial Económico. Sostenibilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

---

## INTRODUÇÃO

As terras raras representam um grupo de 17 elementos químicos incluindo os 15 lantanídeos, além do escândio e do ítrio que possuem propriedades físico-químicas singulares (como anisotropia magnética, notável emissão/absorção óptica e ação catalítica) que os tornam cruciais para as tecnologias atuais. Apesar do nome sugerir raridade, esses elementos são encontrados em abundância na crosta terrestre, embora em depósitos esparsos e economicamente difíceis de concentrar, o que eleva os custos de extração e processamento (Silva; Pereira, 2021).

Em termos econômicos e tecnológicos, as terras raras ganharam importância estratégica nas últimas décadas. São insumos fundamentais para ímãs permanentes de alto desempenho, catalisadores, sistemas ópticos, turbinas eólicas, motores de veículos elétricos e equipamentos de defesa; por isso, sua demanda cresce junto com a transição energética e a digitalização industrial. A compreensão desse papel estratégico é crucial para entender por que políticas industriais e de segurança nacional passaram a incorporar discussões sobre minerais críticos (Almeida; Costa, 2022).

A dinâmica de oferta e demanda das terras raras expõe uma cadeia produtiva complexa: extração, beneficiamento, refino químico e fabricação de componentes finais. Em escala global, a concentração das etapas mais sofisticadas especialmente o refino em certos países cria fragilidades para nações que dependem da importação de concentrados não beneficiados. Essa

particularidade tecnológica explica as recentes iniciativas de governos e empresas para internalizar etapas da cadeia, por meio de investimentos públicos e privados (Souza; Lima, 2023).

No cenário geopolítico, a distribuição produtiva desigual tornou as terras raras um ponto de atrito entre potências, especialmente entre China e Estados Unidos. A China consolidou ao longo de décadas a capacidade de mineração e, principalmente, de refino e processamento de terras raras, adotando recentemente medidas de controle de exportação que geraram reações internacionais e estratégias de diversificação por parte de países importadores. Essas medidas mostram como recursos minerais podem ser usados em disputas comerciais e de segurança tecnológica (Zhang; Miller, 2023).

No Brasil, estudos geológicos e iniciativas de pesquisa apontam para um grande potencial de reservas em vários estados, colocando o país em destaque entre as possíveis alternativas ao domínio asiático na oferta de matéria-prima. Ao mesmo tempo, a história nacional tem sido marcada por uma lacuna entre a identificação de reservas e a consolidação da capacidade industrial de beneficiamento e refino, o que limita a geração de valor internamente. Tais condições tornam essencial a criação de políticas públicas que combinem regulação ambiental rigorosa, investimento em P&D e estruturas institucionais para promover cadeias sustentáveis e socialmente responsáveis (DNPM, 2022).

Nessa perspectiva, no garimpo Bom Futuro localizado no estado de Rondônia, a mineração expõe a complexa ligação entre o progresso financeiro e os obstáculos sociais e ecológicos. Projetos focados no tratamento de detritos da mineração e na extração de minerais raros surgem como promessas de empregos e melhoria de renda na região. Além disso, oferecem a chance de restaurar áreas danificadas pela mineração, dando-lhes uma nova utilidade. Entretanto, tais ações exigem estudos ambientais aprofundados, participação da comunidade local na gestão e transparência total para diminuir os perigos da mineração a céu aberto (Silva; Oliveira, 2023).

Assim, é essencial examinar a importância estratégica, econômica, tecnológica e socioambiental das terras raras, com foco no potencial brasileiro e no exemplo do garimpo Bom Futuro (RO), buscando entender os desafios e as oportunidades ligados à extração, ao processamento e ao uso desses elementos na transição energética, na geopolítica mundial e na criação de políticas públicas sustentáveis, reforçando a importância de harmonizar o crescimento econômico, o progresso tecnológico e a conservação ambiental na formulação de uma política nacional voltada ao uso consciente desses recursos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Aspectos Técnicos da Cadeia Produtiva das Terras Raras: da Prospecção à Purificação

A busca e o reconhecimento de depósitos de terras raras (TR) envolvem desde o estudo geológico detalhado, passando pela análise geoquímica de sedimentos e solos, até o uso de métodos geofísicos (como magnetometria, gamaespectrometria e EM), além do uso de imagens de satélite para identificar os tipos de rocha que contêm esses minerais (monazita, bastnasita) e os depósitos de argilas de adsorção iônica (IAC) encontrados em solos lateríticos. Em uma visão geral, estudos recentes mostram que os depósitos encontrados em rochas alcalinas e carbonatitos (como Bayan Obo) se diferenciam, em termos de composição química e resposta geofísica, dos depósitos IAC resultantes da intensa ação do clima, cuja exploração depende da análise de perfis e da coleta de amostras sistemáticas do solo (Gajendra; Yilmaz; Vila et al., 2025; USGS, 2025).

No Brasil, pesquisas do SGB/CPRM e relatórios técnicos do CETEM indicam áreas costeiras com monazita e potencial em regiões de rochas alcalinas, necessitando da combinação de informações geológicas e geofísicas para definir a extensão dos recursos (CETEM, 2023; SGB/CPRM, 2015).

Durante a extração, observam-se tanto operações de pequena escala (como garimpos em rios e a dragagem de areias com monazita) quanto grandes operações industriais (a céu aberto ou subterrâneas) em depósitos primários, com diferenças significativas em produtividade, controle da contaminação e gerenciamento de riscos. No caso da monazita, a presença de tório e urânio exige medidas de proteção contra a radiação desde a mina até o local de armazenamento dos resíduos; nas argilas IAC, a extração geralmente é feita a céu aberto com baixo impacto no terreno, mas requer um plano ambiental devido à facilidade com que o solo se desgasta e carrega partículas finas (IAEA, s.d.; Gajendra; Yilmaz; Vila *et al.*, 2025).

A literatura também ressalta que os depósitos IAC tendem a ter baixos níveis de materiais radioativos e podem não precisar do processamento mineral tradicional, o que influencia o planejamento da mina e os custos de investimento e operação (Liu *et al.*, 2024).

O processamento mineral (da rocha bruta ao concentrado) para TR é definido pelo tipo de mineral presente. Para bastnasita e monazita, o processo inclui trituração, moagem e concentração por métodos físico-químicos, combinando separação magnética, eletrostática, gravimétrica e flotação (com produtos químicos específicos), com o objetivo de obter a maior quantidade

possível do mineral desejado e remover os minerais indesejados (Gajendra; Yilmaz; Vila *et al.*, 2025). Em depósitos IAC, muitas vezes o processamento é dispensado, indo diretamente para a extração dos elementos de terras raras (REEs) por meio da lixiviação do solo, já que esses elementos estão aderidos às argilas e não em estruturas cristalinas (Liu *et al.*, 2024). No Brasil, materiais de referência do CETEM detalham métodos de laboratório e testes para concentrados de monazita e subprodutos, auxiliando no desenvolvimento de processos (CETEM, 2023).

No processo hidrometalúrgico, os elementos de terras raras (ETR) são solubilizados e separados. Em minérios primários, os métodos tradicionais utilizam a dissolução em ácido sulfúrico ou clorídrico, ou carbonatação sob condições específicas. Depois, a purificação é feita por extração com solventes (SX) em várias etapas, troca iônica ou precipitação seletiva, até se obter óxidos ou metais muito puros. Em argilas IAC, a dissolução ocorre por troca iônica com sais monovalentes ou divalentes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) em temperatura ambiente, com posterior purificação das soluções (Sobri; Harun; Yunus, 2024; Chivavava; Petersen; Lewis, 2024). A escolha dos reagentes, pH, força iônica e a rapidez da troca determinam a quantidade recuperada, as impurezas que vêm junto (Al, Fe) e o consumo, sendo cruciais para otimizar e reduzir emissões nas rotas (Gajendra; Yilmaz; Vila *et al.*, 2025).

Quadro 1 – Fatores que influenciam a dissolução e purificação de terras raras em argilas iônicas (IAC)

Aspecto	Palavras-chave	Referências
Mecanismo de dissolução	Troca iônica, $\text{NH}_4^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ , temperatura ambiente	Sobri; Harun; Yunus (2024); Chivavava; Petersen; Lewis (2024)
Escolha dos reagentes	Eficiência, seletividade, recuperação	Gajendra; Yilmaz; Vila <i>et al.</i> (2025)
pH e força iônica	Mobilidade iônica, solubilização, impurezas	Gajendra; Yilmaz; Vila <i>et al.</i> (2025)
Rapidez da troca	Cinética, rendimento, extração	Gajendra; Yilmaz; Vila <i>et al.</i> (2025)
Impurezas liberadas	Alumínio, ferro, purificação	Sobri; Harun; Yunus (2024)
Consumo e emissões	Otimização, sustentabilidade, baixo impacto	Gajendra; Yilmaz; Vila <i>et al.</i> (2025)

Fonte: Adaptado de Sobri; Harun; Yunus (2024); Chivavava; Petersen; Lewis (2024); Gajendra; Yilmaz; Vila *et al.* (2025).

Os desafios tecnológicos mais comuns incluem: (i) o tratamento de resíduos com NORM (tório/urânio) em cadeias monazíticas, que exige proteções de engenharia, acompanhamento e cumprimento de normas; (ii) o alto consumo de reagentes, água e energia em processos SX extensos; (iii) o controle de pequenas quantidades de impurezas (Th, Pb) para atender aos padrões de qualidade de ímãs; e (iv) o acompanhamento ambiental e social em toda a cadeia. Estudos de ciclo de vida mostram que os maiores impactos ambientais vêm da etapa hidrometalúrgica e do

tratamento de resíduos, o que reforça a necessidade de recuperar reagentes e usar processos menos intensivos (Arshi *et al.*, 2022; IAEA, s.d.). Por outro lado, depósitos IAC bem geridos podem ter menor impacto no beneficiamento, mas exigem controle rigoroso de lixiviantes e da água (Liu *et al.*, 2024).

Finalmente, as tendências globais apontam para um beneficiamento sustentável, reciclagem e trazer de volta parte das etapas mais importantes (refino/óxidos magnéticos) para fora da China, com leis e políticas industriais (como o EU-CRMA) incentivando projetos de processamento e separação (Reuters, 2024; Financial Times, 2025). No Brasil, estudos do CETEM e do SGB/CPRM sugerem oportunidades na união entre mineração e metalurgia (primária e secundária), no domínio de processos para monazita e na pesquisa sobre IAC tropicais, tudo alinhado com as exigências ambientais e de radioproteção (CETEM, 2023; SGB/CPRM, 2015; USGS, 2025).

### **Evolução Histórica, Transformações Minerárias e Caracterização Geológica do Garimpo Bom Futuro Rondônia (RO)**

A exploração do Garimpo Bom Futuro, situado em Ariquemes (RO), se deu a partir de 1987, onde marcou o início de uma intensa corrida pelo ouro, impulsionada pela vasta quantidade de cassiterita presente, o que estabeleceu uma produção contínua de estanho por cerca de três décadas (Junior *Mining Network*, 2023). Estimativas públicas revelam que, nesse período, foram extraídas aproximadamente 195 mil toneladas de estanho, em um ciclo que alternou a mineração mecanizada com a recuperação de depósitos aluvionares e resíduos, transformando a economia e a organização produtiva da região (Mattioli, 2022).

Documentos oficiais da época já registravam a localização, o contexto social e os desafios ambientais e trabalhistas desse ciclo de garimpo, que, no início dos anos 1990, atingiu grandes proporções em Rondônia (Mattioli, 2022).

A partir da década de 2010, observa-se uma mudança de foco, com a atenção se voltando para o potencial de elementos de terras raras (ETR) na área. Pesquisas técnicas nacionais apontam para a presença significativa de ETR leves (Ce, La, Nd, Pr) em concentrados de bateia próximos às minas Oriente Novo e Bom Futuro, com amostras pontuais ultrapassando 10.000 ppm, o que sugere a existência de monazita e abre espaço para a prospecção direcionada e a avaliação do reaproveitamento de rejeitos (CONFEA, 2021). Paralelamente, estudos brasileiros destacam o

papel das argilas de adsorção iônica como um alvo promissor no país, seguindo um cenário semelhante ao asiático, o que reforça a importância da integração de dados geoquímicos e mineralógicos na exploração (*IN THE MINE*, 2020).

Do ponto de vista geológico, Bom Futuro está inserido na Província Estanífera de Rondônia, na extremidade sudoeste do Cráton Amazônico, caracterizada por granitos anorogênicos meso–neoproterozóicos (incluindo granitos tipo rapakivi) e eventos magmáticos tardios que originaram mineralizações de Sn–W em veios greisenizados e pegmatitos (USGS, 2006). Estudos clássicos do USGS e análises regionais do SGB/CPRM descrevem múltiplos momentos de atividade magmática entre ~1.60 e 0.97 Ga. Nesse contexto, Bom Futuro engloba dois morros (Bom Futuro e Palanqueta) e áreas planas adjacentes que abrigam mineralizações primárias e depósitos aluvionares de cassiterita (REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE GEOCIÊNCIAS, 2018; REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL UNESP, 2017).

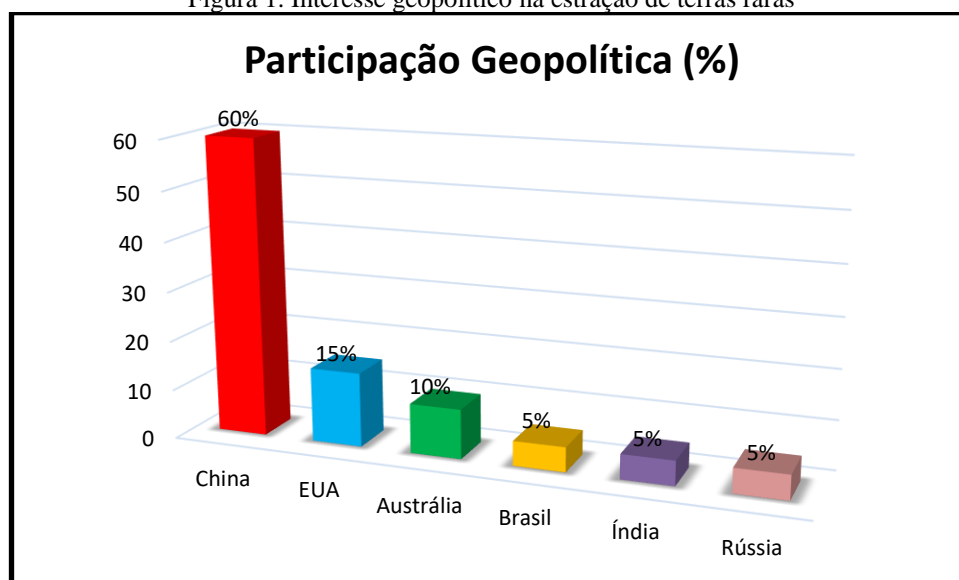
Investigações mineralógicas locais detalham a paragênese e os processos hidrotermais relacionados. No granito albita Palanqueta, estudos petrogeoquímicos identificam cassiterita e volframita em greisens, enquanto análises sobre a zinnwaldita (mica Fe–Li) de Bom Futuro indicam cristalização em temperaturas de cerca de 500 °C e características de micas evoluídas ricas em Mn–Zn, comuns em sistemas graníticos anorogênicos (SCIELO BRASIL, 2019). Esses achados confirmam a coexistência de alvos primários (veios/greisens/pegmatitos) e secundários (depósitos aluvionares e materiais finos/rejeitos), o que é relevante para avaliar a ocorrência conjunta de minerais portadores de ETR, como a monazita, e as possibilidades de produção conjunta (CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS & ASSESSMENT, 2022).

Atualmente, o panorama da produção abrange projetos de reaproveitamento de resíduos de estanho e análises específicas do setor para identificar elementos de terras raras em fluxos secundários e nas proximidades de Bom Futuro, em consonância com a estratégia nacional de minerais de importância estratégica (CONFEA, 2021). A união de uma geologia propícia (granitos tipo A/greisens), dados analíticos de ETR em concentrados de garimpo e a estrutura de mineração existente indica uma oportunidade para métodos de valorização da monazita e/ou análise de jazidas do tipo argila de adsorção iônica, sujeita a estudos de equilíbrio de massa, proteção radiológica, hidrogeologia e autorização (*IN THE MINE*, 2020).

## Disputa Geopolítica e Estratégias de Mercado das Terras Raras: Produção Global, Relações Sino-Americanas e Perspectiva Brasileira

A importância das terras raras nas últimas décadas tem crescido no contexto da geopolítica, devido ao seu papel essencial na transição energética, na indústria de tecnologia e no setor de defesa. Esses elementos químicos são cruciais para fabricar ímãs permanentes, turbinas eólicas, carros elétricos e equipamentos militares, o que faz deles recursos de grande valor estratégico. A concentração da produção mundial em alguns poucos países traz, portanto, um desafio à segurança industrial e energética de várias nações (Humphries, 2013).

Figura 1. Interesse geopolítico na extração de terras raras



Fonte: Adaptado de Mancheri, (2015)

A China é o principal agente nesse panorama, sendo responsável por mais de 60% da produção mundial de terras raras e por grande parte da capacidade de refino, etapa fundamental para a sua utilização industrial (USGS, 2022). Esse domínio dá a Pequim um grande poder de negociação nas relações internacionais, principalmente nas disputas comerciais com os Estados Unidos. Um exemplo disso foi em 2010, quando a China restringiu exportações para o Japão, causando preocupações globais sobre a fragilidade das cadeias de suprimento (Mancheri, 2015). Assim, as terras raras são vistas não apenas como insumos econômicos, mas também como ferramentas de poder geopolítico.

No caso dos Estados Unidos, a dependência da cadeia chinesa de terras raras representa um dilema estratégico para o país. Embora possua reservas consideráveis, como a mina de

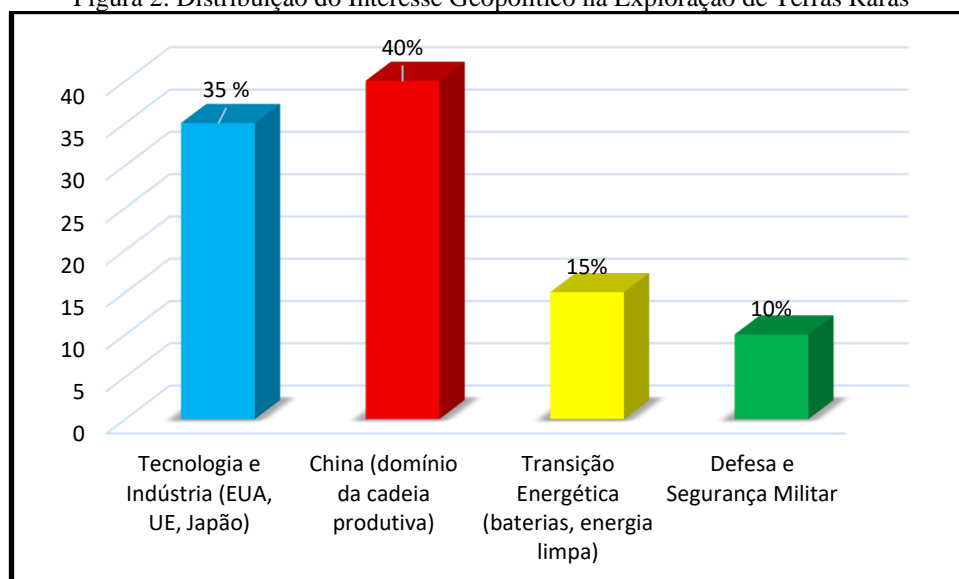
Mountain Pass, a capacidade de processamento ainda é limitada, o que o torna dependente das refinarias chinesas (Kiggins, 2019). Diante disso, Washington tem procurado diversificar fornecedores, estimular projetos de mineração no país e fortalecer alianças com parceiros estratégicos, como a Austrália e o Canadá, na tentativa de diminuir a vulnerabilidade e manter a competitividade tecnológica frente a Pequim.

Para o Brasil, as terras raras representam uma oportunidade significativa no cenário internacional. O país tem reservas importantes, especialmente em estados como Minas Gerais e Goiás, mas ainda precisa de investimentos em tecnologia de processamento e políticas públicas que unam a exploração mineral às cadeias globais de valor (Silva & Carvalho, 2021). A entrada do Brasil nesse mercado vai depender da capacidade de atrair parcerias estratégicas, desenvolver uma indústria nacional de beneficiamento e alinhar-se às necessidades da transição energética global. Assim, o Brasil pode transformar seu potencial geológico em um motor de soberania e desenvolvimento sustentável.

### **Potencial Econômico das Terras Raras: Geração de Renda, Industrialização e Desenvolvimento Regional em Rondônia e no Brasil**

A crescente utilização de turbinas eólicas com ímãs permanentes, juntamente com o aumento de motores em veículos elétricos e diversos aparelhos eletrônicos, solidificou a importância econômica desses materiais, influenciando diretamente as estratégias industriais e as decisões geopolíticas em todo o mundo (IEA, 2024, 2025). Neste cenário, o Brasil, especialmente o estado de Rondônia, ganha destaque devido à existência de depósitos de minerais adsorvidos, ocorrências minerais ligadas a rochas alcalinas e oportunidades para reutilizar resíduos de mineração (SGB/CPRM, 2016; Governo de Rondônia, 2022; Brasil Mineral, 2023).

Figura 2. Distribuição do Interesse Geopolítico na Exploração de Terras Raras



Fonte: Adaptado de (SGB/CPRM, 2016)

Considerando a perspectiva macroeconômica, projeções internacionais indicam que a procura por Terras Raras (TR) deverá dobrar até 2040, especialmente em cenários que visam a redução das emissões de carbono, conforme estabelecido no Acordo de Paris, impulsionada principalmente pela expansão dos veículos elétricos e pelo crescimento das fontes de energia renováveis (IEA, 2024). Ao mesmo tempo, a cadeia de suprimentos continua altamente concentrada – com o domínio asiático nas etapas de refino e separação –, o que aumenta a vulnerabilidade dos países importadores e valoriza projetos que buscam diversificar as fontes e agregar valor localmente (USGS, 2025; IEA, 2025). Essa combinação de demanda constante e riscos na oferta cria oportunidades para países com recursos minerais e capacidade de industrialização, como o Brasil, transformarem seus recursos naturais em valor econômico e tecnológico.

No Brasil, o início da operação comercial do projeto Serra Verde (Goiás), em 2024, que explora argila iônica, representa um marco ao combinar a extração de elementos essenciais (Nd, Pr, Dy, Tb) com um método tecnológico de menor consumo de energia, se comparado à exploração de rochas duras, criando um aprendizado nacional na produção, separação e acordos de longo prazo (Serra Verde, 2024; Mineração Serra Verde, s.d.). A consolidação dessa experiência gera impactos importantes: 1) demonstra a capacidade de atender compradores globais; 2) diminui as incertezas no financiamento de novos projetos; e 3) estabelece uma base para políticas de conteúdo local e desenvolvimento produtivo em ligas, ímãs e dispositivos (IEA, 2024; USGS, 2025).

Em Rondônia, estudos do Serviço Geológico do Brasil identificaram áreas promissoras para a prospecção de TR no sudoeste do estado, associadas a formações alcalinas e a características geoquímicas e geofísicas que indicam a presença de minerais de TR, fornecendo informações técnicas e científicas para decisões de pesquisa e desenvolvimento e atração de investimentos (SGB/CPRM, 2016). Além disso, o reaproveitamento dos rejeitos da mineração de Bom Futuro – tradicionalmente focada no estanho – surge como uma forma promissora de gerar renda, combinando economia circular, redução de danos ambientais e recuperação de TR presentes em partículas finas acumuladas ao longo de décadas (Governo de Rondônia, 2022; Brasil Mineral, 2023). Essas iniciativas estão alinhadas com as tendências internacionais de utilização de subprodutos e resíduos da mineração para o fornecimento de minerais críticos, uma estratégia que diminui os investimentos iniciais, reduz os prazos de implementação e diminui o impacto ambiental por unidade produzida (IEA, 2024).

É possível examinar os impactos esperados na industrialização e no progresso regional sob três perspectivas distintas. Inicialmente, na frente da produção primária: iniciativas de reaproveitamento e extração seletiva de terras raras geram postos de trabalho diretos para profissionais qualificados (áreas como geologia, processamento mineral e química analítica) e indiretos (logística e manutenção), impulsionando conexões locais com fornecedores de serviços técnicos (SGB/CPRM, 2016; Governo de Rondônia, 2022). Em segundo lugar, no âmbito do processamento e da tecnologia: a criação de métodos de separação (hidrometalurgia e troca iônica) e purificação de óxidos de alta pureza é essencial para obter lucros mais elevados e diminuir a dependência de importações de componentes intermediários (USGS, 2025; IEA, 2024).

Por fim, no que se refere à manufatura avançada: políticas de compras governamentais, instrumentos de crédito e parcerias entre universidades e empresas podem estimular a implementação de plantas piloto para ligas e, a longo prazo, atrair fabricantes de ímãs permanentes (NdFeB, SmCo), aumentando o conteúdo local e a resiliência da cadeia produtiva (IEA, 2024, 2025).

No âmbito das políticas públicas, a situação de Rondônia sugere: (I) planejamento territorial e licenciamento ágil com garantias ambientais; (II) ferramentas de P&D direcionadas à mineralogia de argilas iônicas e resíduos locais (como lixiviação seletiva, recuperação de Dy/Tb e reciclagem de reagentes); (III) estímulos à formação de profissionais (química, engenharia de materiais) e laboratórios regionais de metrologia para terras raras de alta pureza; (IV) mecanismos

de financiamento de CAPEX e garantias para contratos de compra, reduzindo riscos de preço; e (v) gestão em múltiplas escalas que envolva municípios mineradores, universidades e o governo estadual para ampliar os efeitos de disseminação (IEA, 2024, 2025; SGB/CPRM, 2016). A experiência recente do Brasil demonstra que a combinação de uma base geológica sólida, uma gestão regulatória eficaz e contratos comerciais de longo prazo é crucial para impulsionar investimentos (Serra Verde, 2024; USGS, 2025).

Finalmente, a sustentabilidade é um fator de competitividade, e não apenas uma exigência regulatória. Projetos baseados na economia circular (resíduos e estéreis), gestão de recursos hídricos, eficiência energética e transparência ESG tendem a atrair capitais mais acessíveis e mercados premium, incluindo demandas por rastreabilidade e pegada de carbono (IEA, 2024).

No caso de Bom Futuro, a revalorização de resíduos para a extração de terras raras pode diminuir passivos, estender o ciclo econômico da mineração local e criar um plano de recuperação ambiental com coprodutos de alto valor agregado (Governo de Rondônia, 2022; Brasil Mineral, 2023). Em resumo, o potencial econômico das terras raras em Rondônia e no Brasil depende menos da "geologia em si" e mais da capacidade de transformar recursos em habilidades tecnológicas e industriais — uma condição essencial para converter picos de demanda em trajetórias duradouras de desenvolvimento regional.

### **Aspectos Socioeconômicos, Ambientais e Desafios da Mineração: Sustentabilidade e Competitividade do Brasil no Mercado Global**

A exploração mineral tem um papel crucial na economia do Brasil, respondendo por cerca de 4% do nosso Produto Interno Bruto (PIB) e sendo uma das maiores fontes de receita com exportações (IBRAM, 2023). Além de gerar recursos financeiros, o setor contribui significativamente para a arrecadação de impostos e para a criação de empregos diretos e indiretos, principalmente em áreas mais afastadas, onde a mineração impulsiona o crescimento econômico e social (Silva; Santos, 2022). Assim, a mineração se firma como uma atividade essencial, que também precisa encontrar um equilíbrio entre a busca por lucro e o cuidado com o meio ambiente e a sociedade.

Os efeitos sociais da mineração vão além do dinheiro, afetando a infraestrutura, a locomoção e a qualidade de vida das pessoas que moram perto. Estudos mostram que as cidades onde há mineração costumam ter melhores condições de vida do que a média do país, devido aos

investimentos em saúde, educação e melhorias urbanas feitos com o dinheiro das compensações e dos impostos (Pereira; Lima, 2021). Porém, surgem problemas como o aumento dos preços e a sobrecarga nos serviços públicos, o que exige que o governo crie políticas para garantir que todos se beneficiem igualmente (Costa, 2020).

Na questão do meio ambiente, a mineração no Brasil é criticada por usar muitos recursos naturais e prejudicar a natureza. Desastres como o rompimento das barragens em Mariana (2015) e Brumadinho (2019) mostram que é preciso melhorar a forma como os riscos são gerenciados e adotar práticas mais rigorosas de segurança e sustentabilidade (Ferreira; Nascimento, 2020). Hoje, a mineração precisa usar tecnologias que não poluem, reaproveitar os resíduos e monitorar constantemente os impactos ambientais, seguindo as metas de desenvolvimento sustentável da ONU (ONU, 2015).

No mercado mundial, o Brasil tem o desafio de equilibrar a competitividade com a preservação do meio ambiente. O país tem vantagens, como a variedade de minerais em seu solo, incluindo ferro, bauxita, nióbio e terras raras (MME, 2023). No entanto, a competitividade brasileira é prejudicada por problemas de transporte, burocracia e falta de estrutura para processar os minerais, o que diminui o valor das exportações (Vasconcelos; Martins, 2021). Para resolver isso, é fundamental melhorar a gestão da mineração, investir em novas tecnologias e aumentar o processamento dos minerais no país, para que o Brasil participe mais das cadeias de produção globais.

Considerando essa situação, a durabilidade e o poder de competição da exploração mineral no Brasil necessitam de planos completos que unam o progresso financeiro, o cuidado com o meio ambiente e a igualdade na sociedade. A criação de leis fortes, o incentivo a colaborações entre o governo e empresas privadas e a inclusão de métodos de mineração que respeitem o planeta são formas de o Brasil se firmar como destaque mundial no ramo, sem deixar de lado as responsabilidades com a sociedade e o meio ambiente (Barros; Oliveira, 2022).

Desse modo, a mineração, mais do que só tirar recursos da natureza, precisa ser vista como um motor de novidades, crescimento nas regiões e uma posição importante do Brasil no comércio internacional.

## **METODOLOGIA**

Esta pesquisa adotou uma metodologia abrangente, buscando entender de forma completa

e multifacetada o potencial estratégico dos elementos de terras raras no Garimpo Bom Futuro, em Ariquemes, Rondônia. Para isso, realizou-se um levantamento bibliográfico sistemático e narrativo, analisando artigos científicos, relatórios técnicos de órgãos geológicos, dissertações, teses e documentos governamentais sobre os aspectos geológicos, econômicos, ambientais e geopolíticos das terras raras. Essa escolha se justifica pela necessidade de reunir diversas perspectivas, facilitando a construção de um panorama teórico e prático sobre o tema (Botelho; Cunha; Macedo, 2011).

Além disso, foram consultadas bases de dados científicas nacionais e internacionais (Scopus, Scielo, Web of Science, Google Scholar) e repositórios técnicos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) e do Ministério de Minas e Energia (MME), para garantir informações atualizadas. Essa fase permitiu identificar evidências sobre a importância global das terras raras, os padrões de produção e consumo, e os desafios tecnológicos relacionados ao beneficiamento e à cadeia produtiva. A pesquisa também analisou documentos de organizações internacionais, como a Agência Internacional de Energia (IEA), que discutem a relevância desses elementos na transição energética.

Para complementar a análise documental, avaliou-se relatórios de mercado e políticas públicas para o setor mineral, incluindo planos de incentivo à mineração de minerais estratégicos, investimentos em pesquisa e inovação tecnológica, e marcos regulatórios. Essa etapa permitiu relacionar o cenário brasileiro com a disputa geopolítica global pelas terras raras, destacando as oportunidades de inserção do país nesse mercado e os obstáculos institucionais que limitam sua competitividade (Vasconcelos; Martins, 2021).

A metodologia incluiu ainda uma análise qualitativa integrativa dos aspectos socioeconômicos e ambientais da exploração mineral em Rondônia. Examinou-se estudos de caso, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e indicadores socioeconômicos regionais, para entender o impacto potencial da mineração de terras raras na economia local, no desenvolvimento regional e na sustentabilidade ambiental. Essa etapa buscou relacionar o potencial mineral do Garimpo Bom Futuro com estratégias de diversificação econômica e fortalecimento da gestão ambiental.

Dessa forma, desenvolvemos um sistema de avaliação que une a análise com a criação de novas ideias. Juntamos informações vindas de diferentes campos, como o técnico, o financeiro, o comunitário, o ambiental e o legal. Essa união nos permitiu entender melhor o que é viável ou não na mineração de terras raras no Garimpo Bom Futuro. Assim, fornecemos subsídios para

direcionar as iniciativas governamentais, novas abordagens tecnológicas e debates sobre sustentabilidade. Dessa maneira, essa abordagem integrada não apenas retrata o cenário mineral, mas também busca aproximar a ciência, a sociedade e as escolhas políticas, visando um crescimento sustentável e robusto do Brasil globalmente.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A avaliação do garimpo Bom Futuro, em Ariquemes (RO), revela que o valor das terras raras no Brasil vai além da simples composição mineralógica, integrando-se a um contexto maior de importância estratégica, tensões geopolíticas e chances de progresso regional. Os dados coletados sugerem que Rondônia apresenta características únicas para transformar resíduos e problemas ambientais de antigas atividades de extração de estanho em fontes de receita, progresso tecnológico e consolidação de setores produtivos relacionados à mudança para energias limpas. Essa conjuntura aproxima a realidade amazônica da procura mundial por minerais essenciais, impulsionada pelo aumento do uso de ímãs fixos, aerogeradores, carros elétricos e aparelhos de ponta.

Contudo, a pesquisa também aponta que a concretização desse potencial está sujeita a obstáculos consideráveis. Entre eles, sobressaem-se as deficiências tecnológicas na separação e refino dos componentes, a precisão de diretrizes governamentais coerentes que unam normas ambientais e incentivos industriais, e a premência de sistemas de gestão aptos a envolver participantes locais, nacionais e internacionais. A situação de Bom Futuro exemplifica que a atividade de mineração, além de seu caráter econômico, deve agregar estratégias de sustentabilidade, gerenciamento de perigos ambientais e integração das comunidades locais, a fim de impedir a repetição de problemas antigos que marcaram fases passadas de mineração na Amazônia.

Sob essa perspectiva, as terras raras do Garimpo Bom Futuro podem ser vistas como um ambiente experimental estratégico para o Brasil: ao passo que proporcionam possibilidades tangíveis de inserção autônoma em cadeias globais de valor, demandam a criação de um modelo de desenvolvimento alicerçado em exploração mineral, inovação tecnológica e harmonia socioambiental. O futuro do país no mercado de terras raras dependerá, portanto, menos da simples ocorrência geológica e mais da habilidade de converter recursos naturais em bens industriais, científicos e institucionais. Ao equilibrar competitividade econômica, preservação

ambiental e prosperidade social, Rondônia poderá se destacar como modelo no uso sustentável de minerais estratégicos, impulsionando tanto a economia regional quanto a relevância do Brasil no cenário geopolítico global.

## REFERÊNCIAS

ALHADAD, A. et al. Chemistry of dark zinnwaldite from Bom Futuro tin mine (Rondônia, Brazil). *Mineralogical Magazine*, v. 64, n. 4, p. 699–708, 2000. Disponível em: Cambridge Core. Acesso em: 13 ago. 2025.

ALMEIDA, P; COSTA, R. A importância estratégica das terras raras na economia global. *Revista de Estudos Econômicos e Tecnológicos*, v. 8, n. 2, p. 110-125, 2022.

ARSHI, A. et al. Environmental impacts of rare earth production: A review based on LCA results. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8929459/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Mineração (ANM). *Sumário Mineral Brasileiro 2024: Terras Raras (ano-base 2023)*. Brasília: ANM, 2024. Disponível em: Portal Gov.br. Acesso em: 13 ago. 2025.

CÂMARA DOS DEPUTADOS (Brasil). Terras-Raras: elementos estratégicos para o Brasil. Brasília: Consultoria Legislativa, 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/.../EstudoMineraisEstratgicoseTerrasRaras.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CANADA RARE EARTH CORP. Canada Rare Earth quer extrair terras raras de rejeitos em Rondônia. *Brasil Mineral*, 28 ago. 2023. Disponível em: [brasilmineral.com.br](http://brasilmineral.com.br). Acesso em: 13 ago. 2025.

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Terras Raras: utilização em tecnologias estratégicas e panorama Brasil-mundo (apresentação). Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/.../20231107TerrasRarasApresentaoVF.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

CHIVAVAVA, J.; PETERSEN, J.; LEWIS, A. E. Comparing the recovery of rare earth elements from ion-adsorption clay leach solutions using various precipitants. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, v. 124, n. 12, 2024. Disponível em: [https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2225-62532024001200007](https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-62532024001200007). Acesso em: 13 ago. 2025.

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Os Elementos Terras Raras (ETR): importância e desafios na extração e beneficiamento no estado de Rondônia. Brasília, 2024. Disponível em: [confea.org.br](http://confea.org.br). Acesso em: 13 ago. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Potencial brasileiro de terras raras: perspectivas e desafios. Brasília: DNPM, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/dnpm/pt-br>. Acesso em: 12 ago. 2025.

FINANCIAL TIMES. European companies look to France for domestic rare earths sector. jul. 2025. Acesso em: 13 ago. 2025.

GAJENDRA, N.; YILMAZ, D.; VILA, M. C. *et al.* Towards a European sustainable beneficiation of rare earth elements bearing minerals: a review. *Science of the Total Environment*, v. 980, 179386, 10 jun. 2025.

Humphries, M. (2013). *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain*. Congressional Research Service.

IAEA – International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and NORM Residue Management in the Production of Rare Earths from Thorium-Containing Minerals. Safety Reports Series. Viena: IAEA, s.d. Disponível em: <https://www.iaea.org/publications/8650/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

Kiggins, R. *The Political Economy of Rare Earths: Rising Powers and Technological Change*. Palgrave Macmillan. 2019.

LIU, H. *et al.* Impact of particle size and associated minerals on rare earth recovery from ion-adsorption clays. *Minerals Engineering*, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11246430/>. Acesso em: 13 ago. 2025.

Mancheri, N. A. (2015). World trade in rare earths, Chinese export restrictions, and implications. *Resources Policy*, 46, 262–271.

Mattioli, M. V. Caracterização mineralógica do rejeito magnético (pilha 2) da frente de lavra Gilberto Kubotani, mina Bom Futuro, Rondônia. / Marina Vendemiatti Mattioli. -- Rio Claro, 2022.

Reuters. Companies forging a rare earths industry in the EU. 27 jun. 2024. Acesso em: 13 ago. 2025.

SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil. Brasília, 2015. Disponível em: [https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/16923/3/IRM-Terras\\_raras.pdf](https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/16923/3/IRM-Terras_raras.pdf). Acesso em: 13 ago. 2025.

SGB/CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Geodiversidade do Estado de Rondônia. Brasília: CPRM, 2014. Disponível em: repositório SGB. Acesso em: 13 ago. 2025.

SILVA, J; PEREIRA, M. Terras raras: propriedades e aplicações tecnológicas. *Revista Brasileira de Química*, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2021.

SILVA, João P.; OLIVEIRA, Maria C. Mineração de terras raras no Garimpo Bom Futuro: perspectivas econômicas e desafios socioambientais. *Revista Brasileira de Geociências e Mineração*, v. 12, n. 4, p. 88-105, 2023.

Silva, L. P., & Carvalho, R. S. (2021). Terras raras no Brasil: potencialidades e desafios. *Revista de Geopolítica e Mineração*, 12(2), 45-62.

Sobri, N. A. M.; Harun, N.; Yunus, M. Y. M. A review of the ion exchange leaching method for extracting rare earth elements from ion-adsorption clay. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 208, p. 94-114, 2024. Acesso em: 13 ago. 2025.

Souza, Carlos; LIMA, Fernanda. Cadeia produtiva das terras raras: desafios e oportunidades. *Revista Brasileira de Mineração e Tecnologia*, v. 15, n. 1, p. 55-70, 2023.

UNESP – Universidade Estadual Paulista. Petrologia e greisenização no depósito de estanho de Bom Futuro (RO). Dissertação/Relatório acadêmico, 2013–2020. Disponível em: Repositório UNESP. Acesso em: 13 ago. 2025.

USGS – U.S. Geological Survey. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, SW Amazonian Craton, Brazil. *USGS Publication 70021758*, 1999. Disponível em: pubs.usgs.gov. Acesso em: 13 ago. 2025.

USGS – U.S. Geological Survey. Rare Earths. In: Mineral Commodity Summaries 2025. Reston, VA: USGS, 2025. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-rare-earths.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

USGS. (2022). *Mineral Commodity Summaries: Rare Earths*. United States Geological Survey. VILLANOVA, J. N.; FRANKE, J. O garimpo Bom Futuro como ferramenta para o ensino de geociências. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental (UFESM)*, v. 27, 2011. Disponível em: UFESM Periódicos. Acesso em: 13 ago. 2025.

ZHANG, Wei; MILLER, Thomas. Geopolitics of rare earth elements: China, the United States, and global supply chains. *Journal of Strategic Resources*, v. 18, n. 2, p. 101-119, 2023.