

MINERAÇÃO DE FUTUROS: TERRAS RARAS, TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E O NOVO PACTO SOCIAL

MINING FUTURES: RARE EARTH ELEMENTS, THE ENERGY TRANSITION, AND THE NEW SOCIAL CONTRACT

MINERÍA DEL FUTURO: TIERRAS RARAS, TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EL NUEVO PACTO SOCIAL



10.56238/revgeov16n5-230

Júlio Edstron Secundino Santos

Doutor em Direito

Instituição: Centro Universitário de Brasília (UniCEUB)

E-mail: edstron@yahoo.com.br

RESUMO

Esta pesquisa dissecou o paradoxo brasileiro da opulência em Terras Raras e minerais críticos versus a vulnerabilidade social, enfrentando o problema central de como transmutar essa riqueza geológica em desenvolvimento soberano, tecnológico e equidade humana. Mediante revisão bibliográfica sistemática e método hipotético-dedutivo, examinou-se a evolução histórica do setor, a hegemonia chinesa na geopolítica da transição energética e o imperativo da verticalização industrial. A análise revela que o modelo de exportação de commodities brutas é obsoleto, defendendo a internalização de cadeias de valor tecnológicas e a aplicação de remineralizadores na agricultura. Fundamentado na constitucionalidade dos recursos como bens da União, conclui-se, que a mineração deve transcender o extrativismo para se tornar um vetor de inovação e justiça intergeracional. A gestão estratégica, aliada à economia circular e rigorosos critérios ESG, é apontada como o único caminho viável para que o Brasil deixe de ser apenas a mina do mundo e se converta em uma potência tecnológica e socialmente justa na era da descarbonização global.

Palavras-chave: Mineração. Terras Raras. Minerais Críticos. Desenvolvimento Sustentável. Construção Futuros Melhores.

ABSTRACT

This research dissects the Brazilian paradox of opulence in Rare Earth Elements and critical minerals vis-à-vis social vulnerability, addressing the core issue of transmuting this geological wealth into sovereign technological development and human equity. Through a systematic bibliographic review and the hypothetico-deductive method, the study examines the sector's historical evolution, Chinese hegemony in the geopolitics of energy transition, and the imperative for industrial verticalization. The analysis reveals the obsolescence of the raw commodity export model, advocating for the internalization of technological value chains and the application of soil remineralizers in agriculture. Grounded in the constitutional principle that mineral resources are assets of the Union, the conclusion asserts that mining must transcend mere extractivism to become a vector for innovation and intergenerational justice. Strategic management, coupled with a circular economy and rigorous ESG criteria, is identified as the sole viable path for Brazil to evolve from being merely the world's quarry into a technological and socially just power in the era of global



decarbonization.

Keywords: Mining. Rare Earths. Critical Minerals. Sustainable Development. Building Better Futures.

RESUMEN

Esta investigación analiza la paradoja brasileña de la opulencia en tierras raras y minerales críticos frente a la vulnerabilidad social, abordando el problema central de cómo transformar esta riqueza geológica en desarrollo soberano, tecnológico y equidad humana. Mediante una revisión bibliográfica sistemática y un método hipotético-deductivo, se examinó la evolución histórica del sector, la hegemonía china en la geopolítica de la transición energética y la necesidad imperiosa de la verticalización industrial. El análisis revela que el modelo de exportación de materias primas es obsoleto, defendiendo la internalización de las cadenas de valor tecnológicas y la aplicación de remineralizadores en la agricultura. Basándose en la constitucionalidad de los recursos como bienes de la Unión, se concluye que la minería debe trascender el extractivismo para convertirse en un vector de innovación y justicia intergeneracional. La gestión estratégica, junto con la economía circular y los rigurosos criterios ESG, se señala como el único camino viable para que Brasil deje de ser solo la mina del mundo y se convierta en una potencia tecnológica y socialmente justa en la era de la descarbonización global.

Palabras clave: Minería. Tierras Raras. Minerales Críticos. Desarrollo Sostenible. Construcción de Futuros Mejores.



1 INTRODUÇÃO

O Brasil ostenta, em seu vasto território, uma das mais impressionantes fronteiras geológicas do planeta, abrigando reservas minerais que transcendem o simples valor comercial para se tornarem peças-chave na engrenagem da civilização contemporânea. No entanto, essa opulência subterrânea convive, há séculos, com um paradoxo desafiador: a incapacidade histórica de converter, de forma plena e equânime, a riqueza extraída do subsolo em desenvolvimento humano e bem-estar social na superfície. A mineração, atividade que desenhou os contornos territoriais e econômicos da nação desde o período colonial, encontra-se hoje diante de uma encruzilhada que definirá não apenas o futuro do setor, mas o posicionamento estratégico do país no século XXI.

O cenário global atravessa uma transformação profunda impulsionada pela urgência climática e pela Quarta Revolução Industrial, movimentos que alteraram radicalmente a demanda por matérias-primas. Se no passado o petróleo e o carvão ditaram a geopolítica, o futuro pertence aos minerais portadores de tecnologia e sustentabilidade.

Elementos de terras raras, lítio, cobalto e nióbio deixaram de ser curiosidades da tabela periódica para se tornarem os alicerces da transição energética, indispensáveis à fabricação de turbinas eólicas, veículos elétricos e dispositivos digitais de alta performance.

Nesse contexto, o problema central que esta pesquisa busca enfrentar reside na seguinte indagação: como o Brasil pode superar sua condição histórica de exportador de *commodities* brutas e utilizar seu potencial em minerais críticos e terras raras como alavanca para um desenvolvimento nacional soberano, tecnológico e socialmente justo? A questão não se limita a extrair mais, mas a extrair melhor, integrando a atividade mineral a cadeias produtivas complexas e garantindo que o valor gerado permaneça no país sob a forma de conhecimento, infraestrutura e qualidade de vida.

A relevância desta pesquisa justifica-se pela posição singular que o Brasil ocupa no tabuleiro internacional. Enquanto potências globais correm para assegurar o suprimento de materiais essenciais para suas indústrias de defesa e tecnologia, buscando reduzir a dependência de monopólios asiáticos, o Brasil oferece uma alternativa segura, estável e ambientalmente responsável.

Aprofundar o entendimento sobre a cadeia das terras raras e minerais estratégicos é, portanto, uma questão de segurança nacional e de inteligência econômica, vital para evitar que o país perca a janela de oportunidade histórica aberta pela reconfiguração das cadeias globais de valor.

Para responder às inquietações propostas, adotou-se como metodologia a revisão bibliográfica sistemática, confrontando dados históricos, relatórios técnicos de agências governamentais, legislação vigente e literatura acadêmica especializada. A pesquisa apoiou-se em fontes primárias e secundárias de instituições de referência, como o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), garantindo a robustez e a atualidade das informações analisadas.



O método de abordagem utilizado foi o hipotético-dedutivo. Partiu-se da premissa geral de que a riqueza mineral, se gerida sob novos paradigmas de governança e inovação, possui capacidade intrínseca de induzir o desenvolvimento. A partir dessa hipótese, buscou-se deduzir as consequências específicas para o caso brasileiro, testando a viabilidade de modelos de negócios que integrem a eficiência econômica com a responsabilidade socioambiental, utilizando casos concretos de sucesso e fracasso como variáveis de análise para validar a tese de que uma nova mineração é não apenas possível, mas necessária.

O método de abordagem adotado foi o hipotético-dedutivo. A pesquisa partiu da hipótese de trabalho de que a dotação mineral, isoladamente, é insuficiente para garantir o progresso socioeconômico, dependendo de variáveis intervenientes críticas: governança institucional e domínio tecnológico. Essa premissa foi submetida ao teste de falseabilidade mediante a confrontação analítica entre casos de excelência na agregação de valor (como a cadeia do Nióbio) e cenários de vulnerabilidade social em municípios que, apesar de grandes arrecadadores de CFEM, permanecem estagnados. Tal dialética permitiu deduzir que a ausência de planejamento estratégico converte a riqueza geológica em dependência externa, validando a tese de que a inovação é o fator determinante para romper o paradoxo da abundância.

A estrutura da pesquisa foi desenhada para conduzir o leitor por uma jornada lógica e evolutiva sobre o tema. Inicialmente, a pesquisa mergulha na História da Mineração no Brasil, revisitando desde os ciclos do ouro e diamantes até a consolidação da grande indústria de ferro. Esta seção estabelece as bases legais e institucionais do setor, analisando a evolução dos Códigos de Mineração e o papel do Estado na regulação do uso do subsolo, fundamental para compreender as raízes dos desafios atuais.

Em seguida, a pesquisa avança para a análise da Geopolítica das Terras Raras e Minerais Críticos, desvelando as dinâmicas de poder que envolvem esses recursos. Examina-se a hegemonia chinesa na cadeia de suprimentos, as estratégias de reação do Ocidente e o potencial do Brasil em se inserir nesse mercado não como mero coadjuvante, mas como um *player* estratégico capaz de oferecer produtos de maior valor agregado, como óxidos separados e ligas metálicas.

A terceira seção, Mineração e o Futuro do Brasil, projeta o olhar para o horizonte, discutindo a aplicação dos recursos minerais na solução de problemas sociais e no fomento à inovação. Demonstra-se, através de exemplos práticos e atuais, como a tecnologia mineral pode dialogar com a agricultura, a saúde e a transição energética, e como a governança corporativa e pública deve evoluir para garantir que os benefícios da extração sejam compartilhados com as comunidades locais e com a sociedade em geral.

As análises empreendidas ao longo da pesquisa permitem antecipar conclusões fundamentais sobre o destino da mineração nacional. Fica evidente que o modelo puramente extrativista, focado em volume e baixo custo, esgotou sua capacidade de gerar desenvolvimento qualitativo. A



sustentabilidade da mineração brasileira dependerá de sua habilidade em internalizar tecnologias de processamento, verticalizar a produção industrial e assumir compromissos inegociáveis com a agenda ESG.

Observou-se, ainda, que o Estado brasileiro detém os instrumentos legais e constitucionais para capitanear essa transformação, uma vez que os recursos minerais são bens da União. A vigilância da Administração Pública e a segurança jurídica são pilares insubstituíveis para atrair investimentos de longo prazo, que sejam resilientes às flutuações de mercado e comprometidos com o legado territorial. A pesquisa aponta que a omissão estatal ou a fragilidade regulatória são caminhos certos para a perpetuação de passivos ambientais e conflitos sociais.

Outra constatação crucial refere-se ao potencial da economia circular e da "mineração urbana" como complementos indispensáveis à extração primária. A recuperação de minerais críticos a partir de resíduos e rejeitos não é apenas uma estratégia de eficiência de recursos, mas uma necessidade ambiental que posiciona o setor mineral na vanguarda da sustentabilidade. O Brasil, com sua competência técnica instalada, tem plenas condições de liderar o desenvolvimento de tecnologias tropicais para a mineração verde.

A pesquisa também ilumina a sinergia latente entre a mineração e outros setores vitais da economia brasileira, especialmente o agronegócio. A utilização de remineralizadores de solo provenientes da atividade mineral exemplifica como a integração inteligente entre setores pode reduzir a dependência externa de insumos, aumentar a produtividade e promover a segurança alimentar, criando um ciclo virtuoso de desenvolvimento interno que fortalece a soberania nacional.

Identificou-se que a superação da pobreza e da desigualdade nas regiões mineradoras não ocorrerá por "gotejamento" econômico natural, mas exige políticas deliberadas de investimento social. A transformação da renda mineral em capital humano — educação, saúde e infraestrutura — é o único mecanismo capaz de romper a "maldição dos recursos naturais". Exemplos de governança participativa e fundos de desenvolvimento local analisados no trabalho provam que essa conversão é viável e eficaz.

A importância deste estudo acadêmico reside, portanto, em oferecer uma visão sistêmica que retira a mineração do banco dos réus ambiental para colocá-la como protagonista da solução climática e social. Ao conectar a geologia com a política industrial e a justiça social, o trabalho preenche uma lacuna no debate nacional, propondo caminhos pragmáticos para que o Brasil assuma sua vocação de potência ambiental e tecnológica.

Por fim, esta pesquisa sintetiza a convicção de que o futuro do Brasil passa, inexoravelmente, pela resignificação de sua relação com o subsolo. As terras raras e os minerais estratégicos são os vetores materiais de uma nova era, mas a direção desse desenvolvimento depende de escolhas políticas e sociais conscientes. O brilho dos minerais brasileiros deve refletir não apenas nos balanços

comerciais, mas na dignidade e na prosperidade de seu povo, concretizando a promessa de um país que utiliza suas riquezas naturais para construir uma sociedade mais justa, avançada e sustentável.

2 MINERAÇÃO NO BRASIL: HISTÓRICO, IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E POTENCIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A inauguração da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) na década de 1940 não representou apenas um marco infraestrutural, mas uma ruptura geopolítica que conferiu ao Brasil uma hegemonia industrial inédita na América Latina, transmutando a vantagem comparativa estática das vastas reservas de minério de ferro em uma vantagem competitiva dinâmica baseada na soberania siderúrgica.

Ao dominar o ciclo tecnológico de transformação do minério em aço, o Estado brasileiro superou o determinismo agrário e pavimentou as bases materiais para uma urbanização acelerada e a complexificação de sua matriz manufatureira, distanciando-se das economias vizinhas que permaneceram, em grande medida, reféns da volatilidade do modelo primário-exportador e dependentes da importação de bens de capital básicos.

Analogamente, a industrialização contemporânea da cadeia de terras raras e minerais críticos apresenta-se como a "nova siderurgia" do século XXI, oferecendo ao Brasil a oportunidade singular de projetar uma vantagem competitiva não mais apenas regional, mas de escala global, ao se posicionar como o elo seguro, sustentável e tecnologicamente denso da transição energética mundial.

A superação da lógica de mera extração para o domínio de etapas complexas, como a separação de óxidos e a manufatura de ímãs permanentes e baterias, constitui uma travessia árdua que exige uma coordenação entre Estado e mercado tão robusta quanto a da Era Vargas, sendo este o único itinerário capaz de evitar a reprimarização da economia e assegurar que o inestimável patrimônio geológico nacional alicerce, efetivamente, a construção de um futuro de prosperidade, autonomia tecnológica e bem-estar social.

Em um salto para a atualidade a mineração, compreendida como a extração de substâncias inorgânicas a partir de depósitos naturais, constitui a base material sobre a qual se erguem as civilizações contemporâneas e seus complexos sistemas industriais. Mais do que uma simples operação técnica, a atividade extrativa representa o "motor do desenvolvimento" e a "mãe das indústrias", fornecendo os insumos essenciais para o sociometabolismo urbano-industrial global.

No contexto brasileiro, esse setor transcende a esfera econômica, entrelaçando-se visceralmente com a formação territorial e política da nação, visto que os minérios do território "têm sido explorados por tratados políticos desde o período colonial, moldando as relações de poder e a ocupação do espaço geográfico ao longo dos séculos" (Domingues, 2022, p. 141).

Historicamente, o labor minerário no Brasil atuou como o vetor primário de interiorização e ocupação territorial, superando a linearidade costeira imposta pela agricultura inicial. Durante os



séculos XVII e XVIII, a extração de ouro e diamantes nas Minas Gerais não apenas financiou a coroa portuguesa, correspondendo a cerca de 50% de toda a produção mundial da época, mas também remodelou a demografia e a economia da colônia, sendo responsável pela promoção da riqueza da metrópole.

“Esse "Ciclo do Ouro" estabeleceu as bases de uma infraestrutura logística e administrativa incipiente, moldando a gênese de uma sociedade que, embora marcada pela exploração intensiva de mão de obra e recursos, começou a desenhar os contornos do que viria a ser o país moderno (Lopes; Figueirôa, 2022).

A institucionalização das geociências e da geologia como política de Estado ganhou robustez no final do século XIX e início do século XX, com a fundação de escolas de minas e comissões técnicas. Contudo, foi durante a Era Vargas, na década de 1930, que o setor mineral foi alçado à condição de eixo central do projeto desenvolvimentista nacional, culminando na promulgação do Código de Minas de 1934. Este marco legal segregou a propriedade do solo da do subsolo, transferindo para a União a gestão das riquezas minerais e estabelecendo a prerrogativa estatal de conceder direitos de pesquisa e lavra, “uma estrutura jurídica que, com alterações, perdura como espinha dorsal da regulação setorial brasileira” (Domingues, 2022, p. 145).

A evolução legislativa prosseguiu com o Código de Mineração de 1967, instaurado durante o regime militar, que reforçou o controle estatal e fomentou vultosos projetos de mapeamento, como o Projeto RADAM, visando a integração e o aproveitamento econômico da Amazônia. Nesse código, o Estado assumiu o dever de monopolizar a administração dos recursos minerais, a indústria de produção e a distribuição, centralizando o controle estratégico.

Esse período, conhecido como "milagre econômico", consolidou a infraestrutura para a grande indústria extrativa, focada na exportação de minério de ferro e na criação de estatais estratégicas, definindo o perfil do Brasil como um ator global na oferta de metálicos (Domingues, 2022, p. 148).

O atual cenário legislativo brasileiro vive uma efervescência regulatória sem precedentes com a tramitação do Projeto de Lei n.º 957/2024, que se propõe a ser o eixo estruturante da modernização do vetusto Código de Mineração de 1967, buscando alinhar o arcabouço jurídico nacional às demandas de uma economia global sedenta por minerais estratégicos e governança ESG. Entre seus pontos fortes, destaca-se a exigência inédita de garantias financeiras robustas para o fechamento de minas, uma medida de "sustentabilidade fiduciária" que visa impedir a socialização dos passivos ambientais, além da desburocratização ao transferir competências de outorga do Ministério de Minas e Energia para a Agência Nacional de Mineração (ANM).

Contudo, a proposta enfrenta críticas contundentes pela flexibilização excessiva do regime de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG), criando "zonas cinzentas" que podem impulsionar o garimpo ilegal na Amazônia sob o manto da formalização simplificada, o que gera insegurança jurídica e



reputacional para o setor mineral brasileiro no mercado internacional. Essa tensão entre a agilidade regulatória e a proteção socioambiental é exacerbada pela ausência de mecanismos de transparência em tempo real, lacuna que o PL n.º 1924/2024 tenta preencher com a criação do Operador Nacional do Sistema Mineral (ONSM), uma inovação necessária para que a modernização não se converta em retrocesso institucional.

No cenário contemporâneo, a produção nacional destaca-se pelos volumes de ferro, ouro, cobre e alumínio, sendo o primeiro o carro-chefe das vendas externas. O Brasil posiciona-se como um líder mundial, com o valor total de exportações das principais substâncias metálicas atingindo cifras expressivas, onde a China figura como o principal destino, absorvendo uma fatia significativa dessa produção, superior a 30% do total exportado em 2019.

Essa relação bilateral, embora vantajosa em termos de superávit comercial, expõe a economia nacional às flutuações dos preços das *commodities*, exigindo uma reflexão constante sobre a imperiosa necessidade de agregação de valor aos produtos antes de seu embarque (Castro; Peiter; Góes, 2022).

Entretanto, o êxito econômico da mineração brasileira convive com desafios socioambientais agudos, exemplificados tragicamente pelos colapsos de barragens em Mariana e Brumadinho. Tais desastres não apenas causaram perdas humanas irreparáveis e danos ecológicos extensos, mas também forçaram uma revisão nos paradigmas de segurança e fiscalização, evidenciando que os problemas ambientais causados pela atividade da mineração são indissociáveis das questões sociais. “A resposta a esses eventos tem sido a busca por uma mineração que integre tecnologias digitais e monitoramento remoto para garantir a integridade das operações e a salvaguarda das comunidades vizinhas” (Lopes; Figueirôa, 2022, p. 870).

Para compreender o horizonte do setor, é importante distinguir conceitualmente três categorias de recursos que frequentemente se confundem no debate público: minerais estratégicos, minerais críticos e terras raras. Os minerais estratégicos são definidos pela política interna de um país, considerando bens dos quais a nação depende para setores vitais, aqueles essenciais para produtos de alta tecnologia ou aqueles em que o território detém vantagens comparativas globais. Para o Brasil, o potássio, o fosfato e o nióbio enquadram-se nesta categoria, seja pela dependência externa do agronegócio ou pela hegemonia de mercado que o país possui (Castro; Peiter; Góes, 2022).

Por outro lado, os minerais críticos são classificados pelo risco de desabastecimento associado à sua relevância econômica para uma determinada indústria ou bloco econômico. Um elemento pode ser crítico para a União Europeia ou Estados Unidos devido à escassez de reservas locais e instabilidade geopolítica dos fornecedores, mas não necessariamente para o Brasil, onde o conceito envolve também a oportunidade de suprimento. Essa “tipologia é dinâmica e varia conforme a evolução tecnológica; por exemplo, minerais essenciais para tecnologias de baixo carbono e mobilidade sustentável têm ganhado destaque na lista de criticalidade global” (Castro; Peiter; Góes, 2022).

Dentro desse espectro, as Terras Raras (ETR) formam um grupo específico de 17 elementos químicos que possuem propriedades magnéticas, luminescentes e eletroquímicas singulares. Frequentemente chamados de "materiais da terceira onda" ou "vitaminas da indústria", eles têm inúmeras aplicações na indústria, entre elas metalurgia, catalisadores, vidros, energia nuclear e fibras óticas.

Embora não sejam geologicamente escassos, encontrar depósitos economicamente viáveis é árduo, e seu processamento é complexo, “gerando uma concentração geopolítica da produção, atualmente hegemônica pela China, que detém a maior parte da produção mundial” (Guimarães, 2011, p. 158).

O Brasil detém um potencial geológico expressivo para ETRs, com reservas históricas em areias monazíticas no litoral e depósitos relevantes como os de Catalão (GO) e Pitinga (AM). A nação já ocupou a liderança mundial na produção desses elementos até meados do século XX, antes de ser superada, e hoje o esforço nacional no setor busca um reposicionamento em curto prazo frente às preocupações mundiais de suprimento. A reativação dessa cadeia produtiva é vislumbrada como uma oportunidade de soberania tecnológica, permitindo ao país não apenas exportar o minério bruto, mas participar da fabricação de componentes avançados (Guimarães, 2011).

Um caso emblemático de sucesso nacional na gestão de um recurso estratégico é o Nióbio. O território brasileiro abriga a quase totalidade das reservas ativas mundiais e domina o mercado global de ferronióbio, insumo vital para a produção de aços de alta resistência e ligas especiais.

Diferentemente de outras *commodities*, o país desenvolveu tecnologia proprietária para o beneficiamento e aplicação do nióbio através da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), exemplificando como é “possível transitar de mero exportador de matéria-prima para um fornecedor de soluções tecnológicas de ponta, inclusive com aplicações promissoras em baterias de carregamento rápido” (Ribeiro, 2021, p. 44).

A dependência externa de insumos para fertilizantes, contudo, representa uma vulnerabilidade estratégica para o Brasil, uma potência agrícola global. O país importa mais de 90% do potássio e uma parcela significativa de fosfatos consumidos, o que motivou o governo a lançar planos nacionais para mitigar essa subordinação e aumentar a produção interna. Projetos para a exploração de potássio em regiões como Autazes e a ampliação da produção de fosfatos são iniciativas que buscam reduzir esse risco, embora enfrentem desafios complexos de licenciamento ambiental e logística (Alves, 2021).

A assimetria estratégica decorrente da dependência brasileira de fertilizantes russos, que historicamente suprem cerca de 23% da demanda nacional de NPK, transcende a mera vulnerabilidade logística para se converter em um "Calcanhar de Aquiles" diplomático na ratificação do acordo Mercosul-União Europeia, colidindo frontalmente com as diretrizes de segurança do bloco europeu que visam o isolamento econômico de Moscou no contexto pós-2022.

Essa subserviência a insumos externos não apenas inflaciona a cadeia produtiva tropical, corroendo a competitividade das *commodities* brasileiras diante da volatilidade cambial, mas politicamente fornece munição retórica ao protecionismo agrícola francês, que passa a utilizar a origem "geopoliticamente comprometida" dos insumos como uma barreira não tarifária moral, travando o acesso ao que seria o maior mercado integrado do Ocidente.

Portanto, a viabilização desse tratado transatlântico exige que o Brasil realize um *decoupling* (desacoplamento) estratégico, substituindo a importação de cloreto de potássio russo pela massificação de remineralizadores de solo nacionais (pó de rocha) e bioinsumos, transformando a soberania de insumos em um ativo de diplomacia ambiental e destravando, assim, o fluxo comercial com a Europa.

A transição energética global para uma economia de baixo carbono coloca a mineração no centro das atenções, criando uma demanda sem precedentes pelos chamados "minerais do futuro". A manufatura de painéis solares, turbinas eólicas e veículos elétricos exige volumes massivos de cobre, lítio, níquel, cobalto e terras raras, minerais essenciais para essas novas tecnologias. "O Brasil, com sua geologia diversificada, está bem posicionado para suprir essa necessidade, possuindo reservas promissoras e projetos em andamento para avaliar o potencial desses bens minerais estratégicos" (Fornari, 2021, p. 32).

O lítio brasileiro, especificamente, tem atraído atenção internacional devido à sua importância crítica para as baterias de veículos elétricos. O Serviço Geológico do Brasil tem conduzido projetos de avaliação do potencial de lítio, com foco em províncias pegmatíticas como a do Vale do Jequitinhonha e da Borborema, visando atrair investimentos e inserir o país na cadeia global. A estratégia não se resume a extrair, mas desenvolver a capacidade de processamento químico do lítio para graus de pureza exigidos pela indústria de acumuladores de energia (Colnago, 2021, p. 36).

A mineração do século XXI enfrenta o paradoxo de fornecer os materiais necessários para salvar o planeta do aquecimento global, enquanto precisa reduzir sua própria pegada ecológica. Isso impõe a adoção de práticas ESG (*Environmental, Social, and Governance*), onde a sustentabilidade deixa de ser um acessório para se tornar um imperativo de negócio, com metas claras de redução de consumo de água e energia. Tecnologias como a disposição de rejeitos a seco e o reuso de água são tendências irreversíveis que buscam harmonizar a atividade extrativa com a preservação ambiental (Vidigal de Oliveira, 2021).

A economia circular apresenta-se como uma fronteira inovadora para o setor, através do conceito de "mineração urbana" e reaproveitamento de passivos. Instituições de pesquisa têm desenvolvido estudos para recuperar terras raras e outros metais valiosos a partir de resíduos eletroeletrônicos, transformando o que era considerado lixo em novos ativos econômicos. Essa abordagem não apenas reduz a necessidade de abertura de novas cavas, mas também mitiga danos ambientais preexistentes, promovendo a eficiência no uso dos recursos naturais (França, 2021).

A inovação tecnológica, impulsionada pela Indústria 4.0, está transformando a operação das minas brasileiras, elevando a eficiência e a segurança. O uso de inteligência artificial para modelagem geológica, análise de dados e manutenção preditiva são realidades em franca expansão que possibilitam tomadas de decisão mais assertivas. Essas ferramentas permitem uma lavra mais precisa, com menor desperdício de estéril e menor exposição de trabalhadores a áreas de risco, alinhando produtividade com segurança ocupacional (Sgorlon, 2021, p. 61).

No aspecto social, a mineração moderna busca redefinir sua relação com as comunidades locais, movendo-se de uma postura assistencialista para uma de geração de valor compartilhado e diversidade. A inclusão de mulheres na mineração, por exemplo, é vista não apenas como uma questão de equidade, mas como um fator que impacta diretamente na lucratividade e na inovação do negócio. “Projetos que integram a mineração com o desenvolvimento local sustentável são fundamentais para deixar um legado positivo após o fechamento da operação” (Moreira; Takano, 2021, p. 46).

A governança pública e a regulação do setor passaram por atualizações recentes com a transformação do antigo departamento DNPM na Agência Nacional de Mineração (ANM). O objetivo foi conferir maior agilidade, transparência e rigor técnico à gestão dos recursos minerais, sendo a segurança jurídica um fator crucial para atrair investimentos de longo prazo. A estabilidade regulatória é apontada como essencial para o desenvolvimento de um ambiente de negócios propício à atração de capital para a pesquisa e lavra mineral (Domingues, 2022).

A manutenção da soberania mineral brasileira e a efetivação da segurança nacional dependem, inexoravelmente, do vigor institucional de seus órgãos reguladores e de pesquisa, que hoje enfrentam o paradoxo de operar em condições de "indigência institucional" em meio à abundância geológica.

Neste sentido, Auditorias recentes do Tribunal de Contas da União (TCU), consubstanciadas no Acórdão nº 2.116/2024, revelam que o desaparecimento tecnológico e a carência crítica de recursos humanos na Agência Nacional de Mineração (ANM) geraram um "apagão fiscalizatório", resultando em uma perda estimada superior a R\$ 20 bilhões em Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) nos últimos anos, recursos estes que, por determinação constitucional, deveriam irrigar o desenvolvimento social dos municípios.

Esse cenário de fragilidade regulatória compromete a segurança nacional ao permitir a evasão de divisas e a expansão de "zonas cinzentas" de extração não monitorada, exigindo uma reestruturação profunda que equipare a agência às demais carreiras de Estado, movimento parcialmente iniciado com a reestruturação de cargos em 2024, mas ainda distante do ideal para uma "fiscalização 4.0".

Simultaneamente, o Serviço Geológico do Brasil (SGB) desempenha o papel de "inteligência de Estado em matéria mineral", sendo fundamental o incremento de seu orçamento para mapear novas fronteiras de minerais críticos indispensáveis à transição energética e à segurança alimentar, transformando dados geocientíficos em soberania aplicada.



Portanto, o fortalecimento robusto da ANM, do SGB e dos órgãos de controle não constitui mera reforma administrativa, mas a pedra angular para a "Construção de Futuros Melhores", garantindo que a riqueza do subsolo não se dissipe na ineficiência, mas se converta, sob estrita vigilância republicana, em dignidade humana e infraestrutura estratégica para a nação.

O aproveitamento dos agrominerais, especificamente os remineralizadores de solo, surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo para a agricultura tropical. O Brasil tem avançado na regulação e uso dessas rochas, que podem reduzir a dependência de fertilizantes químicos solúveis importados e melhorar a produtividade do agronegócio. Essa prática cria uma sinergia direta entre a mineração e a agricultura, duas pilstras da economia brasileira, promovendo uma soberania alimentar baseada em recursos locais (Alves, 2021).

É importante anotar que a distinção ontológica e funcional entre fertilizantes químicos convencionais e remineralizadores de solo (pó de rocha) transcende a agronomia para tocar a essência da soberania alimentar e ambiental: enquanto os fertilizantes operam na lógica da "nutrição iônica de alta solubilidade" (NPK), agindo como uma injeção intravenosa que alimenta a planta instantaneamente, mas que frequentemente saliniza, acidifica e degrada a biota do solo a longo prazo devido à lixiviação excessiva, os remineralizadores atuam como "bioativadores geológicos", reconstituindo a arquitetura mineral e a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) dos latossolos tropicais intemperizados.

Diferentemente dos sais solúveis importados que criam uma vulnerabilidade logística crítica, os remineralizadores são silicatos de baixa solubilidade que liberam nutrientes gradualmente através da interação com a microbiologia do solo (intemperismo biológico), promovendo não apenas a nutrição sustentável, mas também o sequestro de carbono inorgânico no solo (pedogênese reversa), convertendo assim a geodiversidade local em um ativo de independência estratégica que liberta o agronegócio brasileiro das amarras geopolíticas dos oligopólios internacionais de fertilizantes.

A exploração em novas fronteiras, como a plataforma continental (a "Amazônia Azul"), revela potenciais para minerais como o cobalto, platina e fosfato em áreas como a Elevação do Rio Grande. O Serviço Geológico do Brasil tem conduzido estudos para avaliar esses recursos, que podem ser vitais para o futuro, com reservas estimadas de cobalto no fundo dos oceanos superiores às reservas terrestres conhecidas. "O Brasil posiciona-se estrategicamente para pesquisar essas riquezas submersas, ampliando seu horizonte de recursos minerais" (Colnago, 2021, p. 39).

A geopolítica dos minerais coloca o Brasil em uma posição de destaque e responsabilidade no cenário internacional. Enquanto potências disputam o acesso a materiais críticos para a transição energética, a nação oferece um ambiente de estabilidade relativa e vasto potencial geológico inexplorado em minerais estratégicos. Contudo, para capitalizar essa vantagem, o país precisa superar

gargalos logísticos e investir massivamente em mapeamento geológico, visto que grande parte do território nacional ainda carece de conhecimento básico adequado (Castro; Peiter; Góes, 2022).

O desenvolvimento de uma cadeia produtiva verticalizada, que vá além da exportação de concentrados, é o grande desafio para o progresso nacional. A política industrial deve incentivar não apenas a extração, mas o refino e a manufatura de componentes, evitando que o Brasil perpetue sua condição de fornecedor de matérias-primas brutas para a industrialização alheia. Isso requer uma coordenação estreita entre política mineral e industrial para fomentar a agregação de valor aos bens minerais produzidos no país (Castro; Peiter; Góes, 2022).

O setor mineral brasileiro, portanto, encontra-se em um ponto de inflexão histórica, equilibrando seu legado de grande exportador de *commodities* com as novas demandas da economia verde. As iniciativas para reduzir emissões de carbono, como o uso de tecnologias de processamento a seco e a eletrificação de frotas, demonstram um compromisso crescente com a mitigação das mudanças climáticas. A mineração, sendo “baixa emissora relativa de gases de efeito estufa, busca ainda assim aprimorar sua performance ambiental através de metas ambiciosas para 2030” (Brumer, 2021, p. 34).

Por fim, o país possui os recursos que o mundo desesperadamente necessita para construir um futuro sustentável e tecnologicamente avançado, mas precisa converter esse potencial geológico em prosperidade social e econômica real. O sucesso dependerá da capacidade do Brasil de implementar uma governança rigorosa, fomentar a inovação tecnológica e garantir que a riqueza do subsolo se traduza em desenvolvimento humano na superfície, respeitando o meio ambiente e as comunidades, consolidando uma mineração que seja, de fato, compatível com o desenvolvimento sustentável (Oliveira, 2021).

3 TERRAS RARAS E O POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DO BRASIL: ESTRATÉGIA, GEOPOLÍTICA E INOVAÇÃO

Reforçamos que os Elementos de Terras Raras (ETR) constituem um grupo singular de 17 elementos químicos da tabela periódica, compreendendo os lantanídeos, somados ao escândio e ao ítrio, que desempenham um papel insubstituível na fronteira tecnológica moderna. Frequentemente denominados "vitaminas da indústria" ou "materiais da terceira onda", esses elementos não são necessariamente raros em termos de abundância crustal, mas sua ocorrência em concentrações economicamente viáveis é escassa e sua separação metalúrgica extremamente complexa.

A importância desses minerais reside em suas propriedades magnéticas, luminescentes e eletroquímicas únicas, que os tornam insumos críticos para a fabricação de superimãs, catalisadores e ligas metálicas avançadas, fundamentais para a transição energética e a economia digital (Guimarães, 2011).

No cenário geopolítico contemporâneo, as Terras Raras transcendem a categoria de meros recursos naturais para se tornarem instrumentos de poder e soberania nacional. A China, percebendo precocemente o valor estratégico desses elementos, consolidou uma hegemonia global, chegando a controlar cerca de 97% da produção mundial em determinados períodos, apesar de deter aproximadamente 37% das reservas globais. Essa concentração de oferta conferiu a Pequim uma alavanca geopolítica formidável, exemplificada pela crise de 2010 com o Japão, despertando o Ocidente “para a vulnerabilidade de suas cadeias de suprimento industriais e de defesa” (Guimarães, 2011, p. 158).

O Brasil insere-se nesse tabuleiro global como um ator de potencial inigualável, detendo a segunda maior reserva mundial de Terras Raras, superado apenas pela China e posicionado à frente de nações como Rússia, Índia e Estados Unidos. As reservas brasileiras, estimadas em dezenas de milhões de toneladas, não estão apenas concentradas, mas distribuídas em depósitos de classe mundial, como os complexos alcalinos de Araxá (MG) e Catalão (GO), além da mina de Pitinga (AM) e “das históricas areias monazíticas do litoral. Essa dotação geológica privilegiada confere ao país uma vantagem comparativa que, se devidamente gerida, pode ser convertida em vantagem competitiva sustentável” (Colnago, 2021, p. 38).

Entretanto, a simples posse de reservas minerais não garante o desenvolvimento, e o Brasil enfrenta o desafio histórico de superar a condição de exportador de *commodities* brutas. A trajetória nacional no setor de Terras Raras é marcada por um paradoxo: o país foi pioneiro na produção mundial via areias monazíticas até meados do século XX, mas desarticulou sua cadeia produtiva na década de 1990, paralisando a produção de óxidos. Retomar esse protagonismo exige não apenas a extração, mas o domínio das etapas de separação, refino e manufatura de produtos intermediários, rompendo com a lógica colonial de fornecimento de matéria-prima para a industrialização alheia (Guimarães, 2011, p. 161).

Embora a verticalização seja imperativa, reconhece-se que o Brasil enfrenta barreiras de entrada significativas, como o custo de capital elevado e a agressiva política de subsídios das potências asiáticas. A superação exige, portanto, não apenas vontade política, mas políticas industriais de proteção tarifária temporária e subsídio cruzado, similares às estratégias do leste asiático.

Não obstante o imperativo estratégico da verticalização, é forçoso reconhecer que a transição de 'país-mina' para 'país-fábrica' enfrenta barreiras de entrada severas. A consolidação de uma indústria de ímãs e baterias no Brasil colide frontalmente com o chamado 'Custo Brasil', a complexidade logística e, sobretudo, com a agressiva política de subsídios e proteção de propriedade intelectual praticada pelas potências asiáticas hegemônicas.

A viabilidade econômica dessa indústria nascente não ocorrerá por inércia de mercado; ela exige políticas de Estado deliberadas que mitiguem essas assimetrias competitivas — seja via proteção



tarifária temporária, seja via financiamento de longo prazo —, sob pena de a vantagem comparativa geológica sucumbir diante da competição industrial global predatória.

A classificação dos minerais como "críticos" ou "estratégicos" é fundamental para orientar as políticas públicas e o desenvolvimento industrial. Enquanto a União Europeia e os Estados Unidos definem a criticalidade baseada no risco de desabastecimento e na importância econômica para suas indústrias de defesa e tecnologia, para o Brasil, o conceito de mineral estratégico está intrinsecamente ligado à soberania e ao desenvolvimento nacional.

O Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM 2030) identifica as Terras Raras como portadoras de futuro, essenciais para alavancar setores de alta tecnologia e reduzir o déficit na balança comercial de minerais manufaturados (Castro; Peiter; Góes, 2022, p. 26).

A transição energética global, impulsionada pela urgência climática, atua como o principal vetor de demanda para os minerais críticos, transformando as Terras Raras na base material da economia de baixo carbono. A fabricação de geradores para turbinas eólicas e motores para veículos elétricos depende massivamente de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro e disprósio. Sem esses elementos, a eficiência e a viabilidade econômica das tecnologias renováveis seriam drasticamente comprometidas, colocando a mineração no centro das discussões sobre sustentabilidade e mudanças climáticas (Fornari, 2021, p. 32).

Além da energia verde, as Terras Raras são a espinha dorsal da Indústria 4.0 e da revolução digital, estando presentes em praticamente todos os dispositivos eletrônicos modernos. *Smartphones*, telas de LCD, fibras ópticas e discos rígidos dependem de elementos como európio, térbio e ítrio para funcionarem. A dependência tecnológica do Brasil em relação à importação desses componentes, apesar de possuir a matéria-prima no subsolo, evidencia uma lacuna estratégica que precisa ser preenchida por meio de políticas de inovação e desenvolvimento industrial robustas (Castro; Peiter; Góes, 2022, p. 7).

O desenvolvimento de uma cadeia produtiva verticalizada de Terras Raras no Brasil é, portanto, uma questão de segurança nacional e de desenvolvimento econômico qualificado. A experiência bem-sucedida do nióbio, onde o Brasil não apenas detém as reservas, mas domina a tecnologia de processamento e aplicação através da CBMM, serve como um modelo inspirador. Replicar esse sucesso para as Terras Raras exigiria um esforço coordenado entre Estado, academia e iniciativa privada para superar os gargalos tecnológicos, especialmente na etapa de separação dos óxidos individuais, que é intensiva em capital e conhecimento (Ribeiro, 2021, p. 43; Castro; Peiter; Góes, 2022, p. 31).

A abordagem do "Novo Desenvolvimentismo" sugere que o Estado deve atuar como indutor do crescimento, utilizando a riqueza mineral não para financiar o consumo corrente, mas para



alavancar a complexidade econômica. Nesse sentido, a mineração de Terras Raras deve ser vista como o elo inicial de uma cadeia de valor que termina na produção de bens de alta tecnologia.

Neste cenário a exportação de minério bruto deve ser desestimulada em favor da atração de indústrias que utilizem esses insumos, promovendo a transferência de tecnologia e a geração de empregos qualificados no território nacional (Bresser-Pereira, 2011).

O potencial de desenvolvimento proporcionado pelas Terras Raras dialoga diretamente com a concepção de desenvolvimento como liberdade, proposta por Amartya Sen (2000). A riqueza gerada pela mineração deve ser convertida em capacidades humanas, financiando educação, saúde e infraestrutura que ampliem as liberdades substantivas da população. A "maldição dos recursos naturais" só se concretiza quando a renda mineral é capturada por elites rentistas ou desperdiçada em ineficiências, ao invés de ser investida na diversificação produtiva e no bem-estar social (Sen, 2000, p. 53).

A exploração sustentável desses recursos impõe desafios ambientais significativos, dada a frequente associação das Terras Raras com elementos radioativos como tório e urânio. O desenvolvimento de rotas tecnológicas que permitam a extração segura e o manejo adequado dos rejeitos é uma condição *sine qua non* para a viabilidade dos projetos brasileiros. O domínio tecnológico deve abranger, portanto, não apenas a eficiência metalúrgica, mas também a excelência ambiental, garantindo a licença social para operar em um mundo cada vez mais exigente quanto aos critérios ESG (França, 2021, p. 41).

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) tem desempenhado um papel crucial na reavaliação do potencial mineral do país, conduzindo levantamentos aerogeofísicos e geoquímicos para delimitar novas áreas de ocorrência. Projetos recentes em regiões como a Província Pitinga e novas fronteiras na Amazônia indicam que o potencial brasileiro pode ser ainda maior do que o estimado atualmente. "O conhecimento geológico detalhado é o primeiro passo para atrair investimentos de qualidade, que estejam comprometidos com o desenvolvimento de longo prazo" (Colnago, 2021, p. 38).

A diversificação das fontes de suprimento global é uma prioridade para as potências ocidentais, que buscam reduzir a dependência da China através de parcerias com países "amigos" (*friend-shoring*). O Brasil, com sua estabilidade política relativa e matriz energética limpa, posiciona-se como um parceiro estratégico ideal para os Estados Unidos e a União Europeia. Essa conjuntura internacional favorável abre uma janela de oportunidade para o Brasil negociar acordos que envolvam não apenas a venda de minérios, mas a instalação de etapas de processamento e manufatura em solo nacional (Castro; Peiter; Góes, 2022).

A aplicação de Terras Raras na agricultura, embora menos discutida, representa outra fronteira de inovação para o Brasil, uma potência agroambiental. Estudos indicam que a aplicação de certos



elementos de terras raras pode aumentar a produtividade e a resistência de culturas, agindo como micronutrientes. O desenvolvimento de tecnologias nacionais para o uso de agrominerais enriquecidos com terras raras poderia criar uma sinergia única entre os dois setores mais dinâmicos da economia brasileira: a mineração e o agronegócio (Alves, 2021).

Nesse cenário de redefinição paradigmática da fertilidade tropical, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) assume a função estratégica de artífice da "inteligência agromineral", direcionando seu robusto aparato científico para desvendar o papel dos Elementos de Terras Raras (ETR) contidos nas matrizes de remineralizadores não apenas como traçadores geoquímicos, mas como potentes bioestimulantes capazes de induzir efeitos de hormese que ampliam a eficiência fotossintética, a absorção de nutrientes e a resistência ao estresse hídrico das culturas.

Ao validar agronomicamente o uso de rejeitos de mineração enriquecidos com lantanídeos — abundantes em províncias minerais brasileiras e frequentemente descartados —, a instituição promove uma simbiose inédita e tecnologicamente soberana entre a mineração e a agricultura, transformando passivos ambientais em ativos de bioeconomia que, além de reduzirem a dependência de insumos sintéticos importados, agregam valor tecnológico à *commodity* agrícola através da biofortificação e da rastreabilidade isotópica, consolidando a liderança brasileira na agricultura tropical de baixo carbono e alta complexidade.

A "mineração urbana" e a economia circular apresentam-se como caminhos complementares para o suprimento de Terras Raras, reduzindo a pressão sobre novas jazidas. O Brasil gera toneladas de resíduos eletroeletrônicos anualmente, ricos em neodímio, praseodímio e outros metais valiosos. O desenvolvimento de tecnologias de reciclagem pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) “aponta para um futuro onde a recuperação secundária desses elementos contribuirá para a segurança de suprimento e para a sustentabilidade ambiental da cadeia” (França, 2021, p. 41).

A exploração das Terras Raras deve ser estrategicamente posicionada como a "chave-mestra" para destravar as amarras estruturais do desenvolvimento brasileiro, convertendo a demanda global por esses elementos críticos em catalisador para a superação dos gargalos logísticos que historicamente asfixiam a competitividade nacional, uma vez que o alto valor agregado desses minerais viabiliza e justifica investimentos em modais de transporte de alta eficiência em regiões interioranas, integrando o território de forma inteligente.

Simultaneamente, a concretização desse potencial geológico depende da plena apropriação dos mecanismos de eficiência fiscal introduzidos pela Reforma Tributária (Emenda Constitucional nº 132/2023), que, ao garantir a não cumulatividade plena e a desoneração das exportações, mitiga o anacrônico "Custo Brasil", permitindo que a indústria extrativa nacional dispute paridade de armas com a China e as potências do Norte Global, superando a mera exportação de *commodities*.

Nesse contexto, a mineração deixa de ser um fim em si mesma para se tornar a base material de uma neointustrialização tecnológica, onde a riqueza do subsolo financia a redução do *gap* tecnológico através da produção local de componentes avançados (ímãs permanentes e baterias), transformando a vantagem comparativa estática dos recursos naturais em vantagem competitiva dinâmica de uma economia do conhecimento soberana e integrada às cadeias globais de valor.

A política industrial brasileira deve integrar os minerais portadores de futuro em uma estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação. Não basta fomentar a extração; é necessário criar um ecossistema de inovação que envolva universidades, centros de pesquisa e empresas, focado no desenvolvimento de aplicações para as Terras Raras. “O domínio da tecnologia de superímãs, por exemplo, é estratégico para a indústria de motores elétricos, um segmento que crescerá exponencialmente nas próximas décadas” (França, 2021, p. 40).

O conceito de mineração para o desenvolvimento sustentável implica que a extração de recursos finitos deve deixar um legado perpétuo de capital humano e físico. A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) deve ser gerida de forma transparente e aplicada em projetos estruturantes que preparem os territórios mineradores para a economia pós-mineração. A gestão responsável das rendas minerais é o mecanismo que transforma a riqueza do subsolo em prosperidade na superfície (Vidigal de Oliveira, 2021).

As especificidades mineralógicas dos depósitos brasileiros, como os de adsorção iônica e carbonatitos, exigem soluções tecnológicas customizadas. Diferentemente da China, cujos depósitos de argila iônica são de fácil lavra mas alto impacto ambiental, os depósitos brasileiros em rocha dura requerem processos de beneficiamento mais complexos, porém permitem um controle ambiental mais rigoroso. “O desenvolvimento de rotas de processamento adaptadas à mineralogia nacional é um campo fértil para a engenharia mineral brasileira” (Guimarães, 2011, p. 161).

A inserção do Brasil na cadeia global de valor das Terras Raras deve ser pautada pelo pragmatismo e pela visão de longo prazo. A simples exportação de concentrados minerais perpetua a troca desigual e a deterioração dos termos de troca. O objetivo estratégico deve ser a exportação de produtos de maior valor agregado, como óxidos separados, ligas metálicas e ímãs permanentes, capturando uma parcela maior da renda gerada ao longo da cadeia produtiva global (Castro; Peiter; Góes, 2022).

A infraestrutura logística e energética do Brasil constitui um fator crítico para a competitividade dos projetos de Terras Raras. Muitas das reservas, como as da Amazônia, encontram-se em regiões remotas, exigindo investimentos maciços em transporte e energia. No entanto, a matriz elétrica brasileira, predominantemente renovável, confere uma vantagem competitiva no mercado internacional, permitindo a produção de "minerais verdes" com baixa pegada de carbono, “um diferencial cada vez mais valorizado pelos consumidores finais” (Colnago, 2021, p. 36).

A cooperação internacional é vital, mas deve ocorrer em termos que favoreçam o desenvolvimento nacional. Parcerias com países como Alemanha e Japão, que detêm tecnologias avançadas de processamento mas carecem de recursos minerais, podem acelerar o aprendizado tecnológico brasileiro. Contudo, é fundamental que essas parcerias envolvam transferência efetiva de tecnologia e não apenas acordos de *offtake* (compra garantida) de matéria-prima bruta (Castro; Peiter; Góes, 2022).

O papel do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e de outras agências de fomento é central no financiamento de projetos de Terras Raras, que são caracterizados por alto risco geológico e tecnológico e longos prazos de maturação. A criação de linhas de crédito específicas e o apoio a empresas juniores de mineração podem dinamizar o setor, reduzindo a “dependência de capital estrangeiro especulativo e fortalecendo a soberania sobre os recursos nacionais” (Castro; Peiter; Góes, 2022, p. 27).

A legislação mineral brasileira, embora moderna em muitos aspectos, precisa agilizar os processos de licenciamento sem comprometer o rigor ambiental. A segurança jurídica é um ativo intangível essencial para atrair investimentos de qualidade. O Código de Mineração e as normas da Agência Nacional de Mineração (ANM) devem fornecer um ambiente regulatório claro e estável, que incentive a pesquisa mineral e a lavra responsável (Domingues, 2022).

A capacitação de recursos humanos é outro gargalo que precisa ser superado. A formação de geólogos, engenheiros de minas e metalurgistas especializados em Terras Raras é essencial para suportar o crescimento da indústria. O fortalecimento das universidades e institutos federais, bem como a parceria com a indústria para a formação prática, são medidas urgentes para garantir que o “Brasil tenha o capital intelectual necessário para gerir suas riquezas” (França, 2021, p. 42).

A transparência e a governança corporativa no setor mineral são fundamentais para garantir que os benefícios da mineração sejam compartilhados com a sociedade. A adesão a padrões internacionais de sustentabilidade e a prestação de contas às comunidades locais ajudam a construir uma relação de confiança e a mitigar conflitos. A mineração de Terras Raras no Brasil deve ser um exemplo de responsabilidade social corporativa e respeito aos direitos humanos (Brumer, 2021).

O mercado de Terras Raras é caracterizado por alta volatilidade de preços e opacidade, o que dificulta o planejamento de longo prazo. O Brasil pode atuar como um estabilizador desse mercado, oferecendo uma fonte de suprimento segura e previsível, alternativa ao monopólio chinês. Essa posição estratégica fortalece o poder de barganha “do país nas negociações internacionais e contribui para a estabilidade econômica global” (Guimarães, 2011, p. 159).

A integração das cadeias produtivas de mineração com a indústria de transformação é o caminho para o desenvolvimento sustentável. O Brasil não deve almejar ser apenas uma “potência mineral”, mas uma potência industrial baseada em seus recursos naturais. A utilização das Terras Raras



para alavancar a indústria de defesa, a indústria automotiva e o setor de energias renováveis criarão um ciclo virtuoso de crescimento econômico e inovação tecnológica (Bresser-Pereira, 2011).

Em uma análise, as Terras Raras representam para o Brasil uma oportunidade histórica de salto qualitativo em seu desenvolvimento. A janela de oportunidade aberta pela transição energética e pela reconfiguração das cadeias globais de suprimento não permanecerá aberta indefinidamente. “O país precisa agir com celeridade e visão estratégica para transformar seu potencial geológico em realidade econômica” (Vidigal de Oliveira, 2021, p. 50).

O futuro do Brasil como nação desenvolvida e soberana passa, inexoravelmente, pela capacidade de dominar a ciência e a tecnologia dos materiais críticos. As Terras Raras são a chave mestra para as tecnologias do século XXI, e o Brasil, com suas vastas reservas e competência técnica, tem tudo para ser um protagonista nessa nova era. “A mineração, longe de ser um problema, é parte da solução para um mundo mais sustentável e tecnologicamente avançado” (Colnago, 2021, p. 35).

Ante o exposto é deduzido, portanto, que o Brasil detém em seu subsolo não apenas minerais, mas a possibilidade de um futuro próspero e autônomo. A gestão inteligente das Terras Raras, pautada pelo interesse nacional, pela sustentabilidade e pela inovação, pode ser o catalisador de um novo ciclo de desenvolvimento que combine crescimento econômico com justiça social e preservação ambiental, cumprindo a promessa de uma mineração que verdadeiramente serve ao bem comum e à construção de uma nação mais forte e independente (Castro; Peiter; Góes, 2022).

4 MINERAÇÃO E O FUTURO DO BRASIL: SOBERANIA, INOVAÇÃO E RESPONSABILIDADE SOCIAL NA CONSTRUÇÃO DE NOVOS HORIZONTES

O Brasil encontra-se em um momento decisivo de sua história econômica, onde a exuberância de seus recursos naturais contrasta, de forma paradoxal, com persistentes *déficits* sociais. Embora o país seja reconhecido internacionalmente como uma potência mineral, detendo reservas superlativas de nióbio, ferro e bauxita, essa riqueza geológica ainda não se traduziu integralmente em bem-estar social equânime.

A mineração, que historicamente serviu como alavanca para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), enfrenta agora o imperativo ético e estratégico de se tornar um vetor de transformação social, “capaz de mitigar as desigualdades estruturais que afligem milhões de brasileiros” (IBRAM, 2022, p. 12).

A base jurídica para a exploração desses recursos reside na Constituição de 1988, que em seu artigo 20, inciso IX, estabelece de forma inequívoca que os recursos minerais, inclusive os do subsolo, são bens da União. Essa determinação constitucional encerra qualquer dúvida sobre a titularidade desses ativos: eles pertencem ao Estado brasileiro e, por extensão, a toda a sociedade. A exploração por particulares ocorre apenas mediante concessão ou autorização, configurando um regime de



aproveitamento econômico de um patrimônio que é público, o que impõe ao minerador uma responsabilidade fiduciária perante a nação (Domingues, 2022).

O Supremo Tribunal Federal (STF) tem reiteradamente pacificado o entendimento de que a propriedade do solo não se confunde com a propriedade do subsolo, reafirmando a distinção clara entre o superficiário e o titular da jazida, portador do título minerário. Em diversos julgamentos, a Corte Suprema consolidou a tese de que o interesse público na exploração mineral prepondera sobre o interesse privado do proprietário da terra, legitimando a intervenção estatal para garantir que o aproveitamento das jazidas atenda aos fins sociais e “ao desenvolvimento nacional, respeitando-se, contudo, o direito à indenização e à participação nos resultados da lavra” (Domingues, 2022, p. 147).

A jurisprudência do Supremo Tribunal Federal (STF) sobre a titularidade dos recursos minerais ergue-se como um baluarte do "federalismo mineral centrípeto", consolidando a tese da dissociação absoluta entre a propriedade do solo e a riqueza do subsolo, conforme cristalizado no histórico julgamento do Recurso Extraordinário (RE) nº 226.798, onde a Corte reafirmou que a jazida constitui bem imóvel distinto, pertencente à União, cuja exploração por particulares configura mero aproveitamento econômico sob regime de concessão, sem transferência de domínio.

Contudo, uma análise crítica dessa dogmática revela uma tensão dialética latente: ao julgar a Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 4.785, que validou a Taxa de Fiscalização de Recursos Minerais (TFRM) de Minas Gerais, o STF mitigou a rigidez da competência exclusiva da União, reconhecendo a legitimidade do poder de polícia estadual frente à ineficiência fiscalizatória federal, criando um "hibridismo regulatório" pragmático, porém perigoso, que onera o setor produtivo sem necessariamente garantir a efetividade da tutela ambiental.

Essa postura do STF, embora proteja a soberania mineral contra a fragmentação legislativa local (como visto na ADI 2.396), perpetua uma assimetria federativa estrutural onde a União detém o bônus da titularidade e da arrecadação primária, enquanto estados e municípios suportam o ônus das externalidades negativas, exigindo uma evolução hermenêutica que transite da mera defesa patrimonial para um Federalismo Cooperativo mineral de fato, capaz de harmonizar o interesse nacional com a sustentabilidade territorial.

Decorre da titularidade da União sobre os recursos minerais o dever inalienável de vigilância por parte da Administração Pública, submetida ao controle externo do Tribunal de Contas da União (TCU). Em jurisprudência consolidada, notadamente no Acórdão nº 2.520/2021 – Plenário, da relatoria do Ministro Bruno Dantas, proferido no contexto da segurança de barragens após o desastre de Brumadinho, e no recente Acórdão nº 2.116/2024 – Plenário, relatado pelo Ministro Benjamin Zymler, que desvelou a precariedade na arrecadação da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), o Supremo enfatizou que a outorga de títulos minerários não representa um "cheque



em branco", mas um contrato administrativo sujeito a condicionantes rígidas de segurança e retorno financeiro.

A omissão estatal na fiscalização, caracterizada pelo déficit de pessoal e tecnologia denunciado nesses julgados, “configura não apenas lesão ao erário, mas uma afronta aos princípios da eficiência e da legalidade, exigindo uma reestruturação imediata da governança mineral” (IBRAM, 2023, p. 8).

A exploração desses bens da União deve, obrigatoriamente, alinhar-se ao arcabouço de proteção ambiental e aos direitos fundamentais previstos na Constituição de 1988. O Supremo já firmou jurisprudência no sentido de que a atividade econômica, incluindo a mineração, não pode ser exercida em desarmonia com a preservação do meio ambiente, impondo o princípio do poluidor-pagador e a responsabilidade objetiva por danos ambientais. Portanto, a “extração das riquezas do subsolo brasileiro está condicionada à observância rigorosa das normas de sustentabilidade, não havendo direito adquirido à degradação ambiental” (Vidigal de Oliveira, 2021, p. 51).

Nesse cenário de estrita legalidade, a segurança jurídica torna-se uma base para o desenvolvimento do setor, garantindo que as regras do jogo sejam claras tanto para o investidor quanto para a sociedade. A Agência Nacional de Mineração (ANM) tem o mandato legal de assegurar que o aproveitamento dos recursos minerais ocorra com o máximo de eficiência técnica e o mínimo de impacto negativo. O respeito ao Direito vigente não é um entrave, mas a única via possível para legitimar a mineração como uma atividade de interesse público, capaz de gerar riqueza sem comprometer as gerações futuras (Domingues, 2022).

Apesar de possuir uma indústria de mineração consolidada e tecnologicamente avançada em diversos segmentos, o Brasil ainda convive com índices inaceitáveis de pobreza e pobreza extrema. Dados recentes indicam que uma parcela significativa da população vive em situação de insegurança alimentar e carece de moradia digna, uma realidade que desafia a lógica de um país dotado de tamanha riqueza no subsolo. “A superação desse cenário exige que a renda mineral, agora compreendida como fruto de um bem público, seja gerida como um fundo de desenvolvimento humano” (IPEA, 2022, p. 45).

A exploração das Terras Raras deve ser operacionalizada não apenas como uma atividade extrativa, mas como a alavanca primordial para transpor o abismal hiato tecnológico que hoje separa a vastidão das reservas geológicas brasileiras da incipiência de sua capacidade de processamento industrial, em um movimento de *catching-up* que observa, com pragmatismo estratégico, o modelo chinês de integração vertical onde a mineração serviu de alicerce para o domínio absoluto das tecnologias de separação, refino e manufatura de superimãs.

Enquanto Pequim transformou sua vantagem natural em hegemonia tecnológica através de uma política de Estado que vinculou a concessão de lavra ao desenvolvimento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) aplicados, o Brasil deve utilizar o acesso privilegiado a esses minerais



críticos como moeda de troca para a transferência de tecnologia e o fomento de competências endógenas, superando a condição paradoxal de nação que exporta a "matéria do futuro" para importar a tecnologia do presente.

Essa aproximação da fronteira tecnológica exige que a mineração de terras raras funcione como um "hub de inovação", atraindo centros de pesquisa avançada e indústrias de alta complexidade para o território nacional, convertendo a vantagem comparativa estática dos recursos naturais na vantagem competitiva dinâmica da economia do conhecimento, única via capaz de evitar que a revolução verde e digital aprofunde a dependência neocolonial.

A geografia econômica do Brasil revela que muitas das regiões mais ricas em minérios são, contraditoriamente, aquelas que apresentam baixos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH). Essa dicotomia aponta para a necessidade de repensar o modelo de distribuição e aplicação dos *royalties* da mineração, especificamente a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). É fundamental que esses recursos não sejam pulverizados em gastos correntes, mas sim investidos em infraestrutura social e diversificação econômica local, garantindo que as comunidades anfitriãs prosperem a partir da atividade (Enriquez, 2008).

A alocação estratégica da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) deve transcender o imediatismo das despesas correntes para atuar como vetor de "maturidade institucional", onde a conversão do capital mineral finito em capacidade administrativa perene se torna o imperativo ético da gestão pública. É fundamental direcionar parcela substantiva desses *royalties* para a qualificação técnica e a profissionalização do corpo de servidores municipais, mitigando o fenômeno da "indigestão administrativa" causada pelo afluxo repentino de recursos em prefeituras historicamente desaparelhadas para o planejamento complexo.

Ao investir no capital intelectual da Administração local, os Municípios não apenas se blindam contra a volatilidade das *commodities* e a má gestão, mas instalam um "choque de governança" capaz de desenhar políticas públicas baseadas em evidências e eficiência alocativa, garantindo que a riqueza extraída do subsolo se cristalize em um legado de qualidade urbana e justiça social que subsista muito além da exaustão das jazidas.

Nesse contexto, os minerais críticos e as terras raras emergem não apenas como *commodities* de exportação, mas como a chave-mestra para a neointustrialização e o desenvolvimento tecnológico nacional. A transição energética global e a digitalização da economia dependem desses insumos, criando uma janela de oportunidade única para o Brasil. No entanto, para que essa oportunidade se converta em futuros melhores para a população, é necessário que o país avance na cadeia de valor, desenvolvendo tecnologias endógenas que utilizem esses minerais para solucionar problemas locais (BNDES, 2020).



Um exemplo paradigmático de como a mineração pode impulsionar o desenvolvimento tecnológico nacional é a atuação da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) em Araxá (MG). A empresa não se limita à extração, mas investe massivamente em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), destinando cerca de R\$ 270 milhões anuais para inovação. Essa estratégia permitiu ao Brasil não apenas liderar o mercado global de nióbio, mas também desenvolver tecnologias de ponta, como baterias de recarga ultrarrápida (tecnologia XNO®) em parceria com empresas internacionais, demonstrando que o país pode exportar alta tecnologia e não apenas minério bruto (CBMM, 2024).

A exploração de lítio no Vale do Jequitinhonha pela Sigma Lithium ilustra como a mineração moderna pode atuar como vetor de resgate social em regiões historicamente deprimidas. Através do programa "Volta ao Lar", a empresa priorizou a contratação de mão de obra local, alcançando 72% de trabalhadores da região, revertendo o êxodo de qualificação. Essa iniciativa reconstituiu o tecido social ao permitir que profissionais retornem às suas cidades de origem, gerando renda e dinamizando a economia local de municípios como Itinga e Araçuaí, antes estagnados (Brasil Mineral, 2022).

Ainda no Vale do Jequitinhonha, a atuação da mineração transcende a geração de empregos diretos, enfrentando a insegurança alimentar de frente. Campanhas como a "Ação Fome Zero", promovida pela Sigma Lithium, distribuíram milhares de cestas básicas e milhões de refeições para famílias vulneráveis durante e após a pandemia. Esse tipo de ação direta, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, demonstra que a responsabilidade social da mineração moderna pode e deve incluir o combate imediato à fome, atuando como um braço de apoio social em áreas carentes (Brasil Mineral, 2022).

A inovação tecnológica também se traduz em sustentabilidade ambiental e eficiência operacional, como demonstrado pelo projeto S11D da Vale, em Canaã dos Carajás (PA). A implementação do sistema *truckless* (correias transportadoras em vez de caminhões) e do processamento a seco permitiu reduzir o consumo de água em 93% e eliminar a necessidade de barragens de rejeitos convencionais. “Essa tecnologia não apenas reduz o impacto ambiental na Amazônia, mas estabelece um novo padrão global de mineração sustentável, provando que é possível extrair riquezas respeitando biomas sensíveis” (Vale, 2016, p. 4).

O modelo de governança "Juruti Sustentável", implementado pela Alcoa no Pará, oferece um *case* de sucesso na gestão participativa dos recursos minerais. Baseado no tripé "Conselho Comunitário, Fundo de Desenvolvimento e Indicadores", esse modelo empodera a sociedade civil local para decidir sobre os investimentos sociais da mineração. A criação de um fundo de desenvolvimento sustentável garante que parte da riqueza mineral seja convertida em projetos de longo prazo, “decididos pela própria comunidade, reduzindo a dependência econômica da prefeitura e fortalecendo o capital social” (Funbio, 2006, p. 31).



A capacidade de inovação do setor mineral brasileiro é catalisada por iniciativas como o *Mining Hub*, o primeiro hub de inovação aberta do setor no mundo, sediado em Belo Horizonte. Com mais de 350 *startups* inscritas e dezenas de provas de conceito (POCs) realizadas, o *Hub* conecta desafios operacionais e sociais das mineradoras com soluções ágeis de empreendedores brasileiros. Esse ecossistema tem gerado soluções para descarbonização, segurança operacional e gestão social, comprovando que a mineração pode ser uma âncora para o desenvolvimento de *startups* e tecnologia nacional (IBRAM, 2024).

A sinergia entre mineração e agricultura, duas maiores pilastras da economia brasileira, materializa-se no uso de remineralizadores de solo ("pó de rocha"), uma tecnologia tropical desenvolvida com apoio da Embrapa. A aplicação de pós de rocha, subprodutos da mineração, em milhões de hectares de lavouras tem reduzido a dependência de fertilizantes químicos importados e rejuvenescido solos degradados. Essa prática de economia circular transforma um passivo da mineração em um ativo estratégico para a segurança alimentar e a soberania do agronegócio brasileiro (Embrapa, 2023).

A qualificação profissional é outro legado tangível da mineração comprometida com o futuro, como exemplificado pelo projeto da *Nexa Resources* em Aripuanã (MT). Em parceria com o SENAI, a empresa capacitou centenas de jovens locais antes mesmo do início da operação, oferecendo cursos em geologia, mecânica e operação de mina. Esse investimento em capital humano cria uma força de trabalho qualificada que permanece na região, elevando a renda média e abrindo horizontes profissionais para a juventude local, para além da vida útil da mina (Prefeitura Municipal de Aripuanã, 2019).

A recuperação de áreas degradadas e a preservação da biodiversidade também se beneficiam da tecnologia mineral. Em parceria com o Instituto Tecnológico Vale (ITV), projetos na Amazônia utilizam genômica e *big data* para mapear a biodiversidade e acelerar o reflorestamento de áreas mineradas, recuperando milhares de hectares com espécies nativas. Essa abordagem científica da reabilitação ambiental gera conhecimento inédito sobre a floresta tropical, transformando a obrigação legal de recuperação em um programa de pesquisa e conservação de classe mundial (Vale, 2016, p. 3).

A transparência na gestão dos recursos e a integração com a comunidade são fundamentais, como demonstrado pelos indicadores de desenvolvimento monitorados em Juruti. A coleta sistemática de dados primários sobre saúde, educação e infraestrutura permite avaliar o impacto real da mineração e corrigir rumos. Essa cultura de dados abertos e monitoramento constante é essencial para garantir que a "licença social" não seja apenas retórica, mas um contrato de resultados com a população (FGV, 2011).

O conceito de minerais estratégicos deve ser ampliado para incluir sua função social intrínseca. Minerais como o potássio e o fosfato, fundamentais para a produção de fertilizantes, são estratégicos



não apenas para a balança comercial, mas para a segurança alimentar do país e do mundo. O Brasil, como potência agrícola, tem na mineração desses agrominerais a base para garantir alimentos acessíveis à sua população, combatendo a inflação dos alimentos e a fome que ainda persiste em bolsões de vulnerabilidade (MME, 2021).

A exploração de terras raras, em particular, deve ser encarada como uma política de Estado voltada para a soberania tecnológica e o bem-estar social. A aplicação desses elementos em tecnologias de ímãs permanentes, essenciais para a mobilidade elétrica e a geração eólica, pode impulsionar o surgimento de uma indústria de alta tecnologia no Brasil. Isso geraria empregos de alta qualificação e renda, “criando um efeito multiplicador na economia que, se bem direcionado, poderia aliviar as pressões sociais através do aumento da massa salarial” (Lapido-Loureiro, 2013, p. 102).

Ainda no campo das tecnologias sociais, a mineração de minerais críticos pode impulsionar a inclusão digital. Elementos como o lítio, o cobalto e o tântalo são essenciais para a fabricação de dispositivos móveis e baterias. Ao nacionalizar etapas dessa produção, o Brasil poderia reduzir o custo de acesso à tecnologia, “facilitando a inclusão digital de milhões de brasileiros que hoje estão à margem da economia do conhecimento, ampliando suas oportunidades de educação e emprego” (MME, 2021, p. 35).

O enfrentamento da pobreza extrema exige a geração de emprego e renda em larga escala, e a mineração tem um efeito multiplicador elevado na economia. Para cada emprego direto na mineração, geram-se diversos outros na cadeia de suprimentos e nos serviços induzidos. No entanto, é preciso qualificar essa mão de obra local, como visto nos exemplos de Aripuanã e Jequitinhonha, para que os melhores empregos não sejam ocupados apenas por trabalhadores de fora, perpetuando a desigualdade (Enriquez, 2008).

A governança dos recursos minerais deve ser pautada pela transparência e pela participação social. A sociedade civil organizada, as comunidades atingidas e o poder público devem participar ativamente das decisões sobre o uso do território e a destinação das receitas da mineração. A construção de futuros melhores passa necessariamente pelo fortalecimento das instituições “democráticas e pela garantia de que os interesses coletivos prevaleçam sobre os interesses corporativos imediatos” (CGEE, 2012, p. 55).

O Brasil possui um diferencial competitivo em relação a outros produtores minerais: uma matriz energética limpa e uma legislação ambiental robusta. Isso permite que o país se posicione como fornecedor de “minerais verdes” e socialmente responsáveis para o mercado global. Essa diferenciação pode atrair investimentos de fundos ESG que valorizam não apenas o retorno financeiro, mas o impacto social positivo, canalizando capital para projetos que combatam a desigualdade (IBRAM, 2023).

A questão habitacional, um dos grandes flagelos sociais do Brasil, pode encontrar na mineração uma aliada estratégica. O uso de estéreis e rejeitos de mineração na fabricação de materiais de



construção civil de baixo custo e alta qualidade técnica pode viabilizar programas de habitação popular em larga escala. “Além de resolver um passivo ambiental das mineradoras, essa prática reduziria o custo da construção, permitindo que mais famílias tivessem acesso à casa própria” (Enriquez, 2008, p. 60).

A diversificação da pauta exportadora brasileira, com a inclusão de produtos de alta tecnologia baseados em terras raras e minerais críticos, reduziria a vulnerabilidade do país aos ciclos de preços das *commodities*. Uma economia mais complexa e diversificada é mais resiliente e capaz de gerar empregos de melhor qualidade, contribuindo para a redução da desigualdade de renda e para a estabilidade social, fatores essenciais para a democracia (MME, 2021).

O desenvolvimento regional equilibrado é uma meta perseguida há décadas pelo Brasil, e a mineração pode ser um vetor para alcançá-la. Ao interiorizar o desenvolvimento econômico, levando infraestrutura, energia e comunicação para regiões remotas, a mineração combate as assimetrias regionais. Os casos de Canaã dos Carajás e do Vale do Jequitinhonha demonstram que é possível transformar regiões periféricas em polos de dinamismo econômico, desde que haja planejamento e retenção de valor local (CGEE, 2012).

O futuro do Brasil não está determinado apenas pela sua geologia, mas pelas escolhas políticas e sociais que fizermos hoje. A riqueza mineral é um meio, não um fim em si mesma. Se utilizada com sabedoria, transparência e justiça, a mineração de terras raras e minerais críticos pode ser a alavanca que retirará milhões de brasileiros da pobreza e colocará o “país na vanguarda da tecnologia e do desenvolvimento humano” (CGEE, 2012, p. 60).

Finaliza-se, que o potencial transformador da mineração brasileira reside na sua capacidade de integrar desenvolvimento econômico, inovação tecnológica e justiça social. Os exemplos de sucesso já existentes provam que a mineração pode ser sustentável e inclusiva. As terras raras e os minerais estratégicos são os vetores dessa transformação, mas a direção deve ser dada por uma sociedade consciente e um Estado vigilante, comprometidos com a dignidade de todos os cidadãos e a construção de uma nação próspera e soberana (Lapido-Loureiro, 2013).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente investigação conduziu-nos por um itinerário analítico que desvelou as entranhas geológicas e políticas do Brasil, expondo o contraste agudo entre a opulência mineral do subsolo e os desafios sociais da superfície. A mineração, longe de ser uma atividade estática ou meramente extrativista, revelou-se um fenômeno dinâmico, capaz de moldar territórios, definir soberanias e, se devidamente orquestrada, transformar radicalmente a realidade socioeconômica de uma nação. A análise confirmou que o Brasil não é apenas um depósito passivo de recursos, mas um ator geopolítico latente, cuja ascensão depende da superação de paradigmas coloniais de exploração.



O problema de pesquisa central, que questionava a capacidade do país de converter seu potencial em minerais críticos e terras raras em desenvolvimento soberano e justo, encontrou respostas complexas, porém afirmativas. Ficou evidente que a simples extração e exportação de *commodities* brutas é um modelo exaurido, incapaz de gerar a densidade econômica necessária para o século XXI. A resposta reside na industrialização da riqueza mineral, na internalização das cadeias de valor e na aplicação estratégica desses recursos para solucionar gargalos nacionais, desde a dependência de fertilizantes até a inclusão digital.

Para alcançar tais conclusões, a metodologia adotada mostrou-se fundamental. A revisão bibliográfica sistemática permitiu confrontar a historiografia clássica da mineração com os dados mais recentes sobre a transição energética global, enquanto o método hipotético-dedutivo validou a premissa de que a governança pública e a inovação tecnológica são as variáveis independentes que determinam o sucesso ou o fracasso do desenvolvimento mineral. A análise não se restringiu à geologia, mas integrou economia, direito e sociologia para construir uma visão holística do setor.

A recapitulação das seções desta pesquisa demonstra uma evolução lógica do pensamento. Iniciamos revisitando a História da Mineração, identificando como os ciclos do ouro e do ferro estruturaram o território, mas também cristalizaram uma dependência externa. A análise da legislação, desde o Código de 1934 até a Constituição de 1988, reafirmou que os recursos minerais são bens da União, impondo ao Estado o dever fiduciário de geri-los em prol da coletividade, e não apenas para a satisfação de interesses corporativos imediatos.

Ao adentrarmos na Geopolítica das Terras Raras, desnudamos a vulnerabilidade do Ocidente frente ao monopólio asiático e a oportunidade histórica que se abre para o Brasil. A transição para uma economia de baixo carbono, sedenta por magnetos, baterias e semicondutores, reposicionou o Brasil no tabuleiro global. Concluimos que a segurança climática do planeta passa, em grande medida, pela capacidade brasileira de ofertar esses materiais de forma ética e sustentável, rompendo com a lógica de "enclaves" extrativos.

A seção sobre o Futuro do Brasil solidificou a tese de que a mineração deve ser um vetor de justiça social. Os casos de sucesso analisados, como o do nióbio e as iniciativas no Vale do Jequitinhonha, provam que é possível alinhar lucro com progresso social. No entanto, a persistência da pobreza em municípios mineradores alerta que o "gotejamento" econômico não é automático; ele exige políticas públicas deliberadas de distribuição de renda, diversificação econômica local e investimentos massivos em capital humano.

Uma das conclusões mais robustas deste estudo acadêmico refere-se à imperiosa necessidade de verticalização industrial. O Brasil não pode se contentar em ser a mina do mundo; deve almejar ser a fábrica de tecnologias verdes. O domínio das etapas de separação de óxidos de terras raras e a

fabricação de componentes finais, como ímãs permanentes e baterias, são a única via para capturar o valor agregado real e criar empregos de alta qualificação que retenham os talentos nacionais.

Identificou-se, também, que a sustentabilidade não é mais uma opção retórica, mas um imperativo de sobrevivência econômica. A pressão dos mercados por critérios ESG e a vigilância da sociedade civil tornaram a licença social para operar tão importante quanto a licença ambiental. A mineração do futuro será aquela que regenera ecossistemas, utiliza água de forma circular e elimina o risco inaceitável das barragens de rejeitos, transformando passivos ambientais em novos ativos econômicos através da mineração urbana e do reaproveitamento de resíduos.

A pesquisa destacou a sinergia vital entre a mineração e o agronegócio, duas pilstras da economia nacional que frequentemente caminham de costas um para o outro. A utilização de remineralizadores de solo (pó de rocha) emergiu como uma solução elegante e tropical para a segurança alimentar e a redução da dependência externa de fertilizantes. Essa integração demonstra como a inovação endógena pode criar ciclos virtuosos de desenvolvimento, conectando o subsolo à mesa do brasileiro.

O papel do Estado, frequentemente demonizado ou subestimado, reafirmou-se como central. A segurança jurídica, a estabilidade regulatória e o financiamento de longo prazo via bancos de fomento são insubstituíveis para mitigar os riscos geológicos e tecnológicos inerentes ao setor. A conclusão é que o Estado não deve ser empresário, mas estrategista, indutor e fiscalizador implacável, garantindo que a riqueza mineral sirva aos interesses estratégicos da nação.

A análise do cenário internacional revelou que a janela de oportunidade para o Brasil se posicionar como líder em minerais críticos é estreita. A corrida tecnológica é veloz, e novos materiais podem substituir os atuais. Portanto, o senso de urgência deve permear as políticas públicas. A letargia estratégica ou a aposta na mera exportação de *commodities* condenaria o país a um novo ciclo de subdesenvolvimento, desta vez em meio à era da inteligência artificial e da energia limpa.

Conclui-se, que a tecnologia é a ferramenta de emancipação. A capacidade de mapear a "Amazônia Azul", de processar minerais complexos e de reciclar componentes eletrônicos define a fronteira entre a soberania e a dependência. O fortalecimento das instituições de pesquisa e a aproximação entre universidade e empresa são condições *sine qua non* para que o Brasil deixe de pagar *royalties* pelo uso de tecnologias feitas com seus próprios minérios.

A dimensão ética da mineração foi reiterada como inegociável. A tragédia humana e ambiental de rompimentos de barragens passados ensinou, a um custo altíssimo, que a segurança não aceita improvisos. A nova mineração brasileira deve ser sinônimo de vida e respeito às comunidades, e não de risco e degradação. A transparência na gestão dos recursos e a participação popular nas decisões são os antídotos contra a maldição dos recursos naturais.



Observou-se que a diversificação da pauta exportadora é essencial para a estabilidade macroeconômica. A volatilidade dos preços das *commodities* não pode ditar o ritmo do desenvolvimento nacional. Ao incorporar tecnologia aos seus minerais, o Brasil blinda sua economia contra choques externos e garante uma inserção internacional mais ativa e qualificada, deixando de ser preço-tomador para se tornar um formador de tendências tecnológicas.

A pesquisa também iluminou o potencial da economia circular como uma nova fronteira de mineração. A recuperação de terras raras de equipamentos obsoletos não é apenas uma medida ecológica, mas uma estratégia de segurança de suprimento. Transformar o lixo eletrônico em reserva mineral urbana é um sinal de maturidade industrial e civilizatória que o Brasil tem plenas condições de liderar.

Ficou patente que a integração regional na América do Sul, unindo as reservas de lítio e cobre dos vizinhos andinos à capacidade industrial e às reservas de terras raras e nióbio do Brasil, poderia criar um polo global de eletromobilidade. A diplomacia dos minerais críticos deve ser uma ferramenta de integração continental, fortalecendo a posição da região nas negociações globais e promovendo o desenvolvimento compartilhado.

A responsabilidade intergeracional emergiu como um princípio orientador. Extrair recursos finitos hoje implica o dever moral de deixar um legado de infraestrutura, conhecimento e qualidade ambiental para as gerações futuras. A criação de fundos soberanos ou mecanismos de poupança intertemporal a partir da renda mineral é uma recomendação lógica para garantir que a bonança presente não se transforme na escassez futura.

Reafirma-se, a pobreza em um país geologicamente rico é uma escolha política, não uma fatalidade do destino. A mineração possui o capital e a tecnologia para ser um agente de erradicação da miséria nas regiões onde atua. A conversão da riqueza mineral em escolas, hospitais e saneamento é a prova final de sucesso de qualquer política mineral que se pretenda humana e desenvolvimentista.

Por fim, esta pesquisa não encerra a discussão, mas lança as bases para um novo pacto mineral brasileiro. As evidências colhidas apontam que o caminho está traçado: ele exige ousadia para inovar, rigor para fiscalizar e sensibilidade para incluir. O Brasil tem a geologia, a competência técnica e a demanda global a seu favor; resta agora alinhar a vontade política e a estratégia empresarial.

Em síntese, o futuro do Brasil não será descoberto por acaso; ele será escavado com inteligência e construído com propósito. As terras raras e os minerais estratégicos são os tijolos dessa construção, mas a argamassa é a nossa capacidade de sonhar e realizar um país onde o brilho do subsolo se reflita, inequivocamente, no brilho dos olhos de sua gente, consolidando uma nação soberana, sustentável e socialmente justa.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Francisco. Uma dependência que incomoda. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 3, out. 2021.
- BNDES. **Panoramas Setoriais 2030: Mineração e Metalurgia**. Rio de Janeiro: BNDES, 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Mineração. **Diretor-Geral da ANM participa do Exosibram 2024 e defende fortalecimento institucional**. Brasília: Gov.br, 16 set. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei n.º 1924, de 2024**. Dispõe acerca do Sistema Eletrônico de Informações do Setor de Mineral (SEISMI). Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2024. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2434708>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Ação Direta de Inconstitucionalidade nº 4.785**. Relator: Ministro Edson Fachin. Brasília: Diário da Justiça Eletrônico, 30 jun. 2022. Disponível em: <https://jurisprudencia.stf.jus.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL. Supremo Tribunal Federal. **Recurso Extraordinário nº 226.798**. Relator: Ministro Moreira Alves. Brasília: Diário da Justiça, 25 fev. 2000. Disponível em: <https://jurisprudencia.stf.jus.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão nº 2116/2024 – Plenário**. Relator: Ministro Benjamin Zymler. Sessão de 28 de agosto de 2024. Brasília: TCU, 2024. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Acórdão nº 2520/2021 – Plenário**. Relator: Ministro Bruno Dantas. Sessão de 20 de outubro de 2021. Brasília: TCU, 2021. Disponível em: <https://pesquisa.apps.tcu.gov.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRASIL MINERAL. **ESG | Sigma avança com ações no Vale do Jequitinhonha**. São Paulo: Brasil Mineral, 31 mar. 2022. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRESSER-PEREIRA, Luiz Carlos. **Brasil e o Novo Desenvolvimentismo**. 2011. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRITO, Cleuber Mores. **A Mineração do Século XXI: Desejo ou Realidade?**. Londrina: CMB Consultoria, 2023. Disponível em: <https://cmbconsultoria.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- BRUMER, Wilson. Minerais do Futuro: A visão do IBRAM. *In*: FORNARI, Mara. Contribuindo para a transição energética. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 33-34, out. 2021.
- CARVALHO, Carlos Eduardo. **Geopolítica dos fertilizantes: a dependência brasileira e os impactos no comércio exterior**. Brasília: IPEA, 2023. (Boletim de Economia e Política Internacional, n. 34).
- CASTRO, Fernando Ferreira de; PEITER, Carlos Cesar; GÓES, Geraldo Sandoval. **Minerais estratégicos e críticos: uma visão internacional e da política mineral brasileira**. Brasília: Ipea, 2022. (Texto para Discussão, 2768).
- CBMM. **CBMM impulsiona inovação e expansão com aplicações de nióbio**. Araxá: CBMM, 2024. Disponível em: <https://cbmm.com>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- CGEE. **Relatório Síntese I Fórum Minas e Mineração no Século XXI**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.

- COLNAGO, Esteves Pedro. Minerais do Futuro: Qual o potencial brasileiro? *In*: FORNARI, Mara. Contribuindo para a transição energética. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 35-39, out. 2021.
- CNI. **Minerais críticos e a indústria brasileira**: estratégias para a competitividade e soberania. Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2024
- CNM. **Qualidade do gasto público em municípios mineradores**: diagnóstico e propostas. Brasília: Confederação Nacional de Municípios, 2023.
- DOMINGUES, Gustavo Fernandes. História da Mineração no território brasileiro: uma análise dos tratados políticos que legislam a atividade mineradora (1934-1967). **Revista Ensaios de História**, Franca, v. 23, n. 1, p. 136-151, 2022.
- EMBRAPA. **Efeito da aplicação dos remineralizadores no solo**. Brasília: Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- EMBRAPA. **Rochagem como estratégia de soberania nacional**: reduzindo a dependência de potássio importado. Brasília: Embrapa Cerrados, 2024. (Documentos, 380).
- ENRÍQUEZ, Maria Amélia; ALVES, Leonardo. **A maldição dos recursos naturais e a gestão municipal**: desafios da governança da CFEM no Brasil. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 57, n. 4, p. 32-58, 2023.
- ENRIQUEZ, Maria Amélia Rodrigues. **Os Impactos da Mineração na Sociedade**: Em busca da sustentabilidade em regiões mineradoras. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.
- FEIGELSON, Bruno; KAUFFMAN, Marcos. A jurisprudência do STF e a TFRM: reflexos no federalismo fiscal mineral. **Revista de Direito Minerário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 2, p. 45-62, 2023.
- FGV. **Indicadores de Juruti**: para onde caminha o desenvolvimento do município. São Paulo: FGV EAESP, 2011.
- FORNARI, Mara. Contribuindo para a transição energética. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 32-43, out. 2021.
- FRANÇA, Silvia et al. Desenvolvimento e inovação em mineração e metais. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 133-166, mar. 2012.
- FRANÇA, Silvia. Minerais do Futuro: Desenvolvimento científico e tecnológico. *In*: FORNARI, Mara. Contribuindo para a transição energética. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 40-42, out. 2021.
- FUNBIO. **Juruti Sustentável**. Rio de Janeiro: Funbio, 2006. Disponível em: <https://www.funbio.org.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- GUIMARÃES, Leonam dos Santos. Terras-Raras e Minerais Estratégicos. **Revista Marítima Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 131, n. 04/06, p. 157-161, abr./jun. 2011.
- IBRAM. **Green Paper**: O Brasil e os minerais estratégicos. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2023.
- IBRAM. **Mining Hub apresenta resultados de 2024 e projeções para 2025**. Brasília: IBRAM, 16 dez. 2024. Disponível em: <https://ibram.org.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- IBRAM. **Panorama da Mineração do Brasil**. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 2022.
- IPEA. **Retratos da Sociedade Brasileira**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2022.

- LAPIDO-LOUREIRO, Francisco Eduardo. **Terras Raras: Polêmica ou Estratégia?**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.
- LIMA, Paulo César; SANTOS, Edilson. **Capacitação estatal e desenvolvimento local: o uso de royalties na qualificação da gestão pública**. Brasília: ENAP, 2024.
- LOPES, Maria Margaret; FIGUEIRÔA, Silvia Fernanda de M. Mineração para um mundo melhor [Resenha]. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p. 869-871, jul./set. 2022.
- MASSARI, Guilherme. A geopolítica das terras raras e a ascensão da China: lições para o Brasil. **Revista de Economia Política e História Econômica**, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 98-115, 2023.
- MEDEIROS, João Carlos *et al.* **Rochagem: uma alternativa sustentável para a agricultura tropical**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2023.
- MME. **Caderno Minerais: Minerais Estratégicos e Críticos**. Brasília: Ministério de Minas e Energia/SGB, 2021.
- MOREIRA, Joana; TAKANO, Carolina. Por que planejar um futuro inclusivo para mulheres na mineração?. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 46-48, out. 2021.
- OLIVEIRA, Ana Paula; SANTOS, Marcos. O protecionismo verde e o acordo Mercosul-UE: desafios para o agronegócio. **Revista de Política Externa**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2024.
- PINHEIRO NETO ADVOGADOS. **Apresentado novo Projeto de Lei para alterar o Código de Mineração**. Alerta Legal. São Paulo, 1 abr. 2024. Disponível em: <https://www.pinheironeto.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- POLIDORO, José Carlos. A convergência mineração-agricultura: o papel da pesquisa pública na tropicalização de tecnologias de remineralização. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 5-12, 2024.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE ARIPUANÃ. **Inscrições para processo seletivo do Programa de Qualificação Profissional**. Aripuanã: Prefeitura Municipal, 17 mar. 2019.
- RAMOS, Silvio Junio *et al.* **Potencial de uso de terras raras na agricultura tropical: efeitos fisiológicos e nutricionais**. Brasília: Embrapa, 2024. (Série Documentos, 412).
- RIBEIRO, Eduardo. A economia circular do Nióbio. *In*: FORNARI, Mara. Contribuindo para a transição energética. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 42-44, out. 2021.
- RIZZO, Andrea Câmara *et al.* **Terras raras: a base da alta tecnologia e o cenário brasileiro**. Rio de Janeiro: CETEM, 2023.
- ROSA, Ramon. Impactos conflitantes: as novas regulações de mineração e o aumento do garimpo ilegal na Amazônia. **IBGM Informa**, Brasília, 20 maio 2024. Disponível em: <https://ibgm.com.br>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- SEN, Amartya. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- SGORLON, Armindo. Os ganhos da transformação digital no setor de mineração. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 60-61, out. 2021.
- SILVA, Victor Athayde; PEREIRA, Leticia Merçom; OLIVEIRA, Johann Soares de. PL 957/24: avanços ou retrocessos no Código de Mineração?. **JOTA**, São Paulo, 15 out. 2025. Disponível em: <https://www.jota.info>. Acesso em: 29 nov. 2025.
- SOUZA, Felipe. A diplomacia dos insumos: Rússia, Brasil e o mercado global de alimentos. **Cadernos de Relações Internacionais**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 112-128, 2023.



SOUZA, Washington Peluso Albino de. **Direito Econômico e os recursos minerais**: a propriedade da União e o interesse nacional. 2. ed. São Paulo: Editora Jurídica Brasileira, 2024.

TEIXEIRA, Paulo César; MARTINS, Eder de Souza. **Agrominerais e terras raras**: novas fronteiras para a sustentabilidade da produção agrícola no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023.

THEODORO, Suzi Huff; OLIVEIRA, Kleber Worsley de. Remineralizadores de solo: a revolução silenciosa da agricultura brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 10-35, 2022.

VALE. **S11D**: maior projeto de minério de ferro da história da Vale. Rio de Janeiro: Vale, 19 set. 2016.

VAN STRAATEN, Peter. **Agrogeology: The Use of Rocks for Crops**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. (Adaptado para o contexto brasileiro por SGB, 2024).

VIDIGAL DE OLIVEIRA, Alexandre. Mineração, desenvolvimento e sustentabilidade - uma associação compatível e real. **Brasil Mineral**, São Paulo, n. 414, p. 50-52, out. 2021.

