

**QUAL A IMPORTÂNCIA DO
BRASIL NA CADEIA GLOBAL DE
MINERAIS CRÍTICOS PARA A
TRANSIÇÃO ENERGÉTICA? UMA
ANÁLISE SOBRE RESERVAS,
PRODUÇÃO, COMÉRCIO EXTERIOR
E INVESTIMENTOS**

**RAFAEL LEÃO
MARIANO LAIO DE OLIVEIRA
DANÚBIA RODRIGUES DA CUNHA**

QUAL A IMPORTÂNCIA DO BRASIL NA CADEIA GLOBAL DE MINERAIS CRÍTICOS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA? UMA ANÁLISE SOBRE RESERVAS, PRODUÇÃO, COMÉRCIO EXTERIOR E INVESTIMENTOS

RAFAEL LEÃO¹

MARIANO LAIO DE OLIVEIRA²

DANÚBIA RODRIGUES DA CUNHA³

1. À época, especialista em políticas públicas e gestão governamental na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea). *E-mail*: rafael.leao.economia@gmail.com.

2. Chefe da Divisão de Minerais Críticos e Estratégicos da Agência Nacional de Mineração (ANM). *E-mail*: mariano.oliveira@anm.gov.br.

3. Pesquisadora bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diset/Ipea. *E-mail*: drcdanubia@gmail.com.

Governo Federal

Ministério do Planejamento e Orçamento
Ministro Bruno Moretti

ipea

Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidenta

LUCIANA MENDES SANTOS SERVO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

FERNANDO GAIGER SILVEIRA

Diretora de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

LUSENI MARIA CORDEIRO DE AQUINO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

CLÁUDIO ROBERTO AMITRANO

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

ALEXANDRE DOS SANTOS CUNHA

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura

PEDRO CARVALHO DE MIRANDA

Diretora de Estudos e Políticas Sociais

LETÍCIA BARTHOLO DE OLIVEIRA E SILVA

Diretora de Estudos Internacionais

KEITI DA ROCHA GOMES

Chefe de Gabinete

SHEILA CRISTINA TOLENTINO BARBOSA

Coordenadora-Geral de Imprensa e Comunicação Social

GISELE AMARAL DE SOUZA

Ouvidoria: <https://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <https://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2026

Leão, Rafael da Silveira Soares

Qual a importância do Brasil na cadeia global de minerais críticos para a transição energética? Uma análise sobre reservas, produção, comércio exterior e investimentos / Rafael da Silveira Soares Leão, Mariano Laio de Oliveira, Danúbia Rodrigues da Cunha. – Brasília, DF: Ipea, 2026.

77 p.: il., gráfs. – (Texto para Discussão ; n. 3174).

Inclui Bibliografia.

ISSN 1415-4765

1. Minerais Críticos. 2. Economia dos Recursos Minerais. 3. Transição Energética. I. Oliveira, Mariano Laio de. II. Cunha, Danúbia Rodrigues da. III. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IV. Título.

CDD 333.8

Ficha catalográfica elaborada por Elizabeth Ferreira da Silva CRB-7/6844.

Como citar:

LEÃO, Rafael da Silveira Soares; OLIVEIRA, Mariano Laio de; CUNHA, Danúbia Rodrigues da. **Qual a importância do Brasil na cadeia global de minerais críticos para a transição energética?** Uma análise sobre reservas, produção, comércio exterior e investimentos. Brasília, DF: Ipea, maio 2026. 77 p.: il. (Texto para Discussão, n. 3174). DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3174-port>

JEL: F14; L72; Q32; Q33.

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e ePUB (livros e periódicos).

Acesse: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

1 INTRODUÇÃO	6
2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E MINERAÇÃO	7
3 DADOS E METODOLOGIA	15
4 RESERVAS GLOBAIS E PRODUÇÃO	19
5 O COMÉRCIO INTERNACIONAL	26
5.1 Primeiro elo: minérios e concentrados	26
5.2 Segundo elo: matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos	32
5.3 A visão integrada dos mercados e o posicionamento do Brasil	39
6 TENDÊNCIAS, INVESTIMENTOS E PROJEÇÕES PARA O FUTURO	46
7 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE A	73

SINOPSE

Este estudo analisa a importância do Brasil na cadeia global de suprimentos de minerais críticos para a transição energética, abordando reservas, produção, comércio exterior e investimentos. A transição energética, impulsionada pela necessidade de mitigação das mudanças climáticas, requer uma reconfiguração dos sistemas de geração de energia, substituindo-se combustíveis fósseis por fontes renováveis e tecnologias de baixa emissão de gases de efeito estufa. A produção de equipamentos para geração de energia eólica e solar, bem como veículos eletrificados, demandam grandes quantidades de minerais críticos, como cobre, lítio, níquel, manganês, grafita e terras-raras. O Brasil possui reservas significativas de alguns desses minerais, mas enfrenta desafios na produção e no comércio internacional. O texto destaca a importância dos investimentos para que o país possa explorar seu potencial minerador e se posicionar como um ator global relevante na transição energética.

Palavras-chave: minerais críticos; economia dos recursos minerais; transição energética.

1 INTRODUÇÃO

A transição energética está reposicionando a importância da atividade mineradora para a economia mundial. A reconfiguração dos sistemas de geração de energia e de transporte em direção à produção e ao consumo de energias renováveis, em oposição ao padrão fóssil, criou imensa demanda por substâncias usualmente denominadas “minerais críticos da transição energética” (IEA, 2021, 2025a, 2025b). Turbinas eólicas, placas fotovoltaicas e carros eletrificados são constituídos por grande volume de muitas dessas substâncias, em proporções das mais variadas. As projeções de demanda para as próximas décadas sugerem que a extração desses elementos químicos precisará crescer em ritmo inédito para atender aos esforços globais de mitigação das mudanças climáticas, com implicações mercadológicas e geopolíticas de repercussão internacional (Irena, 2023, 2024).

O Brasil é uma importante província mineral, com grandes reservas mapeadas para algumas dessas substâncias. O país pode se tornar protagonista na agenda climática também por seu potencial geológico, ainda que seu papel em anos recentes, nessa seara, tenha sido de figurante, pela baixa expressividade de sua exploração mineral nesse conjunto específico de minérios. O objetivo central deste trabalho, e sua contribuição para o debate sobre o tema, é analisar a importância do Brasil nesse cenário dos minerais críticos da transição energética desde o início do século XXI, e apontar quais são suas perspectivas competitivas para o futuro, avaliando, de maneira integrada, as reservas e a produção mineral do país, sua inserção internacional por meio do comércio exterior, e os investimentos em produção e em pesquisa geológica. Soma-se, portanto, a outros trabalhos que fizeram análises sobre minerais e/ou temas específicos do caso brasileiro (Heider *et al.*, 2024; Heider e Siqueira, 2024; Iasco-Pereira, 2023; Lins, Vera e Dourado, 2025; Silva, Cunha e Costa, 2023; Silva, Silva e Souza Gaia, 2024), e a pesquisas de caráter mais abrangente, que contêm diagnósticos e proposições de políticas públicas (Ibram, 2024; Deloitte, 2025).

A estrutura do texto é a seguinte: a seção 2 apresenta a conexão entre mineração e transição energética, discutindo suas repercussões geopolíticas e o contexto no qual as análises da atuação do Brasil se inserem; a seção 3 traz um breve enunciado da metodologia adotada para essas análises; a seção 4 apresenta as reservas minerais e a produção global, por país e por substância; a seção 5 analisa detalhadamente o comércio internacional dos minérios e seus concentrados (primeiro elo da cadeia produtiva) e das matérias-primas químicas e metalúrgicas básicas confeccionadas a partir do processamento mineral (segundo elo da cadeia produtiva); a seção 6 discute tendências tecnológicas, projeções de demanda e necessidades de investimento, levantando hipóteses que possam explicar o desempenho brasileiro descrito nas seções

TEXTO para DISCUSSÃO

anteriores. Em todas essas seções, o Brasil é analisado especificamente. A seção 7 conclui o trabalho.

2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E MINERAÇÃO

As mudanças climáticas impuseram a necessidade de reconfiguração da matriz energética mundial, a partir do diagnóstico consensual de que o aquecimento do planeta decorre da ação humana, especialmente dos sistemas de geração de energia (IPCC, 2023). A economia global, desde a Revolução Industrial, sempre dependeu de combustíveis fósseis para seu funcionamento. As emissões de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEE)¹ provenientes desse modelo energético vêm se acumulando na atmosfera e alcançam níveis bastante elevados. Essa dinâmica tem modificado o funcionamento do efeito estufa, aumentando as temperaturas médias globais e já trazendo diversas consequências prejudiciais. A queima de combustíveis fósseis por sistemas elétricos, atividades econômicas (como manufatura e extrativismo), construção civil e sistemas de transporte representa mais de 80% das emissões atuais mundiais. No entanto, o desmatamento, a agropecuária e as mudanças no uso do solo também desempenham um papel significativo, contribuindo de forma complementar (IPCC, 2023).

Ao longo das últimas décadas, as maiores economias mundiais buscaram soluções conjuntas por meio da diplomacia multilateral – em arenas diversas do sistema da Organização das Nações Unidas (ONU), em instâncias como o G20, mas também em ambientes empresariais, como o Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum – WEF), entre outros –, sopesando um emaranhado de interesses comerciais, estratégias geopolíticas e entraves burocráticos e políticos. A distribuição de responsabilidades objetivas para cada país, as diametrais capacidades financeiras e estatais, e as necessidades e ambições econômicas estiveram no cerne das negociações dos grandes acordos climáticos multilaterais já celebrados, com destaque para a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), o Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris (2015).²

Esses acordos, especialmente o segundo e o terceiro citados no parágrafo anterior, estabeleceram metas de redução de emissões de GEE para nações desenvolvidas

1. Como o metano e o óxido nitroso, por exemplo.

2. Outras conferências foram emblemáticas e, ainda que não tenham resultado em protocolos e decisões vinculativas, contribuíram sobremaneira para aprofundar os debates, como é o caso da Conferência de Copenhague (COP15) de 2009 e o lançamento da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, com os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável.

e grandes economias em desenvolvimento.³ Na esteira da fixação dessas metas, os desafios da redução das emissões, outrora um tanto especulativos, ganharam contornos financeiros, tecnológicos e políticos palpáveis, apresentando-se agendas governamentais e empresariais com planos, cronogramas e entregas relacionadas às reduções das emissões de todos os tipos acima elencados.

A transição energética, nesse contexto, representa uma dessas agendas, constituída de ações voltadas para a reconfiguração dos sistemas elétricos e de transporte. Seu objetivo é substituir as tecnologias de geração e uso energético baseadas na queima de combustíveis fósseis por alternativas que minimizem as emissões de GEE. Isso implica a expansão da produção de eletricidade por fontes renováveis – e.g., solar e eólica, principalmente –, a redução da participação de termelétricas na matriz elétrica, e a substituição dos meios de transporte de cargas e passageiros exclusivamente firmados em motores a combustão interna (*internal combustion engines* – ICE)⁴ por veículos eletrificados (*battery electric vehicle* – BEV, *plug-in hybrid electric vehicle* – PHEV, *fuel cell electric vehicle* – FCEV).⁵

A manufatura dos equipamentos necessários para a geração de energia eólica e solar e dos carros eletrificados (especialmente o BEV) demanda grandes quantidades de um conjunto específico de minerais, denominados usualmente de “minerais críticos para a transição energética”. Enquanto um carro ICE demanda, em média, menos de 50 kg dessa cesta de minerais (basicamente cobre e manganês), um carro BEV requer, em média, mais de 200 kg de cobre, lítio, níquel, manganês, grafita e elementos de terras-raras. A intensidade de uso mineral na geração de eletricidade também é alta: para cada megawatt (MW) de energia potencial instalada, usinas de gás natural e carvão mineral demandam entre uma e 3 toneladas de minerais (basicamente cobre, no caso do gás natural, e cobre, níquel e cromo, no do carvão mineral); painéis solares requerem mais de 7 toneladas (cobre e silício) e usinas eólicas *offshore*⁶ podem chegar a quase 16 toneladas – de cobre, níquel, manganês, cromo, molibdênio, zinco e terras-raras (Cathles e Simon, 2024; IEA, 2021).

3. O Protocolo de Kyoto previa metas apenas para países desenvolvidos, ainda que tenha sido assinado por 84 países e ratificado por 192 (com a ausência marcante dos Estados Unidos e a retirada posterior do Canadá), enquanto o Acordo de Paris estabeleceu metas para todos os signatários (195 países o assinaram e 194 o ratificaram, sendo que os Estados Unidos assinaram, mas não ratificaram).

4. ICE são os veículos convencionais movidos a combustão interna de hidrocarbonetos.

5. BEV é o veículo elétrico movido apenas a energia armazenada em baterias; PHEV é o veículo híbrido recarregável, que conjuga um motor elétrico movido a bateria e um motor a combustão; FCEV são veículos com motor elétrico movido a hidrogênio.

6. Eólicas *offshore* são usinas instaladas em alto-mar, e usinas eólicas *onshore* estão situadas em terra firme.

TEXTO para DISCUSSÃO

A transição energética, portanto, se levada a cabo, promoverá a migração de um sistema econômico intensivo em hidrocarbonetos para outro, intensivo em minerais (IEA, 2021). O mundo caminhará para a redução do sistema baseado na extração de petróleo, gás natural e carvão mineral, e adotará outro, intensivo em mineração de cobre, lítio, terras-raras etc. Entre 2010 e 2019, a participação de tecnologias de baixa emissão de GEE subiu continuamente, de 40% para 60%, nas novas instalações de geração de energia elétrica em todo o mundo, e, como consequência, subiu de 4 para 6 toneladas⁷ a intensidade média de minerais nas expansões da matriz elétrica global (IEA, 2021).

Se bem-sucedida, a transição energética poderá mitigar consideravelmente a mudança climática em curso, evitando desastres maiores. Essa reconversão energética, contudo, não será uma panaceia, e, especificamente na questão de sua intensidade mineral, ensejará sua própria pletora de desafios tecnológicos, dilemas geopolíticos cruzados com fontes fósseis e, inclusive, danos ambientais. A expansão da demanda por minerais promoverá proporcional expansão nos requerimentos totais de materiais e energia necessários para sua extração (combustíveis, água, energia etc.) e aumento de rejeitos e estéreis associados à mineração (Angelo, 2024; Watari *et al.*, 2019). Contudo, o tipo de dano ambiental e sua distribuição no território, em todo o planeta, seria alterado substancialmente, em virtude das disposições geográficas das reservas minerais e das especificidades da atividade mineradora, e os países mineradores precisariam instituir políticas públicas de mitigação desses impactos (IEA, 2023b; Aramendia *et al.*, 2023; Magdalena, Valero e Calvo, 2023; Lèbre, Sharma e Corzo Remigio, 2024; Berthet *et al.*, 2024; IEA e OECD, 2025; Carr-Wilson, Pattanayak e Weinthal, 2024).

Ainda assim, projeções de cenários baseados em ampla adoção de geração de energia e de meios de transportes baseados em fontes renováveis apontam para importante redução de requerimentos totais de materiais e energia, em oposição a cenários de predominância de fontes fósseis. O estudo que chegou a essas conclusões (Watari *et al.*, 2019) realizou suas projeções assentadas na hipótese de que o nível de pureza das reservas de alguns minerais (cobre, zinco e níquel) será declinante (Voet *et al.*, 2019⁸ *apud* Watari *et al.*, 2019), mas assumiu como constantes os parâmetros de intensidade mineral das tecnologias de geração de energia e carros eletrificados.

A literatura mostra, contudo, que os desenvolvimentos tecnológicos que visam a ganhos de eficiência energética e, portanto, à redução no custo de geração elétrica,

7. Nessa estimativa, a IEA (2021) considerou a energia eólica, a solar e a nuclear.

8. VOET, Ester van der *et al.* Environmental implications of future demand scenarios for metals: methodology and application to the case of seven major metals. *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 1, p. 141-155, 2019.

resultam em reduções importantes da intensidade do emprego de minerais. Turbinas eólicas, painéis solares e baterias automotivas utilizam menos minerais hoje do que no passado, e essa tendência permanecerá (IEA, 2021), possivelmente aliviando a pressão ambiental do incremento da atividade mineradora. Avanços tecnológicos em reciclagem e reúso de materiais também podem gerar benefícios ambientais adicionais. Atualmente, é muito variável a taxa de recuperação entre as diversas substâncias. Por motivos técnicos (características físico-químicas) e econômicos (dimensão do mercado e problemas de escala), algumas substâncias praticamente são irre recuperáveis, com taxas de recuperabilidade inferiores a 1%, como é o caso de elementos de terras-raras, enquanto outras substâncias têm taxas altíssimas – a exemplo do titânio, de 90% (Collins *et al.*, 2024).

Para além de aspectos ambientais, como os mencionados anteriormente, quantidade importante de estudos recentes tem avaliado as implicações geopolíticas da transição energética. Especificamente sobre a geopolítica dos minerais críticos, existem duas abordagens preponderantes na literatura.

Uma, de perspectiva mais difusa, avalia como riscos e eventos geopolíticos de repercussão geral – guerras, atentados terroristas etc. – afetam os preços de *commodities* energéticas e minerais e, inversamente, como movimentos agudos nas cotações dessas *commodities* podem ser transmitidos para outros mercados, gerando riscos financeiros sistêmicos, além de influenciarem sinalizações de mercado para maiores investimentos num sistema energético em oposição a outro (Yilmazkuday, 2024; Basher e Sadorsky, 2024; Jiang, Dong e Yoon, 2025; Mariev e Islam, 2025; Pham e Hsu, 2025). É importante lembrar que o termo “transição” implica a coexistência de dois sistemas energéticos por um longo período, e os mercados subjacentes – e.g. eletricidade, óleo e gás, carvão, minérios, bens de capital, componentes etc. – influenciarão uns aos outros, de múltiplas maneiras, especialmente em momentos de turbulência (Considine *et al.*, 2023; Arfaoui, Roubaud e Naeem, 2025). São sistemas concorrentes no longo prazo, mas complementares no curto prazo.

A segunda abordagem é voltada para a avaliação dos riscos de interrupções na comercialização internacional de minérios, inspirada na própria tradição da geopolítica do petróleo. Basicamente, a geopolítica dos combustíveis fósseis – sobretudo no caso do petróleo, o mais importante – sempre esteve centrada na garantia de canais desimpedidos de comercialização – marítimos, em especial – e na contenção de escaladas de preço decorrentes da cartelização do mercado global (Kuzemko *et al.*, 2025). Não que isso seja tarefa simples, mas o grande jogo geopolítico da energia baseada em hidrocarbonetos é esse, calcado, durante décadas, na relação conturbada dos países desenvolvidos – os Estados Unidos, em particular – com nações da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), especialmente as do Oriente Médio (Jones,

TEXTO para DISCUSSÃO

Steven e O'Brien, 2014; Pascual, 2015). O *shale gas* americano, nesse cenário, constituiu evento geopolítico decisivo, retirando os Estados Unidos da posição de maior importador de petróleo para o de maior produtor mundial, tendo o país se tornado exportador líquido nos últimos anos (Yergin, 2023).

A geopolítica dos minerais críticos da transição energética tem aspectos mais sutis e consequências imediatas menos desastrosas. Esse caráter mais benigno decorre do posicionamento dos minerais críticos (e suas formas processadas e refinadas) nas cadeias produtivas globais e da criticidade do seu fornecimento (Månberger e Johansson, 2019; Irena, 2023, 2024; Ghorbani *et al.*, 2024; Radebe e Chipangamate, 2024). O petróleo e o gás natural são usados, basicamente, como combustíveis, ainda que sejam insumos industriais em muitas cadeias produtivas, em especial as químicas, de plásticos e de borrachas. Enquanto combustíveis, exigem fluxo diário contínuo de fornecimento, dinâmica que não se verifica no caso dos minerais críticos. A interrupção eventual do fornecimento desses minerais pode provocar aumentos de preço momentâneos – dificilmente duradouros –, mas não interromperia a produção corrente de energia, apenas atrasaria projetos em andamento e a fabricação de equipamentos de energia renovável (Irena, 2024). A relação entre riscos geopolíticos (conflitos armados, atentados terroristas etc.) e elevações substanciais de preços nos mercados globais dessas substâncias geralmente se manifesta ao longo de semanas ou meses (Saadaoui, Smyth e Vespignani, 2025; Shao, Cao e Zhang, 2024). No caso do petróleo, interrupções de comercialização podem, no limite, paralisar economias inteiras, provocando caos social e político – como ocorrido com as crises do petróleo na década de 1970.

Ainda sobre o posicionamento nas cadeias produtivas, é importante mencionar que a produção de petróleo e a capacidade de refiná-lo para produzir combustíveis e petroquímicos variados é, virtualmente, generalizada. Mesmo que a OPEP tenha produzido 36,2% do petróleo cru mundial em 2023, a América do Norte produziu outros 23,8%, a Ásia e a África, outros 8%, cada um desses continentes, por exemplo. No refino, a capacidade global também é bem distribuída: em 2023, América do Norte, Europa e América do Sul detiveram 21,2%, 14,4% e 6%, respectivamente.⁹

No caso dos minerais, a situação é completamente diferente. A oferta global de cada um dos minerais tratados neste trabalho é altamente concentrada, com alguns países dominando mais de 50% da produção global de substâncias específicas, como são os casos do cobalto da República Democrática do Congo (RDC), do níquel da Indonésia e do cromo da África do Sul (De la Torre de Palacios e Espí Rodríguez, 2024).¹⁰ No elo produtivo subsequente, o do refino, a concentração da produção global é ainda mais

9. Energy Institute. Disponível em: <https://www.energyinst.org/statistical-review/home>.

10. Esses números serão detalhados mais adiante.

aguda. A China é dominante na capacidade de refino de muitos dos minerais focalizados neste trabalho, tendo ofertado, em 2024, 95% da grafita, 91% das terras-raras, 91% do manganês, 78% do cobalto, 70% do lítio e 44% do cobre. Apenas no caso do níquel, não é preponderante mundialmente: sua participação é de 31%; a Indonésia lidera, com 43%, e se encontra em ascensão (IEA, 2025a).¹¹

Detalhe importante nessa seara é a questão do controle acionário dos empreendimentos refinadores ao redor do mundo. Os dados sobre a China apresentados no parágrafo anterior dizem respeito à oferta de minerais refinados oriundos de operações situadas em seu território, que geralmente são de controle acionário chinês, ainda que capitais estrangeiros detenham participações minoritárias. Contudo, capitais de origem chinesa detêm controle acionário majoritário em operações em diversas regiões do mundo. No caso do níquel, por exemplo, parte importante da capacidade de refino situada na Indonésia é de controle chinês, de maneira que 65% da oferta global de níquel refinado é controlada pela China (IEA, 2025a; Miller, 2025). Ressalte-se que bancos chineses têm financiado operações de mineração de minerais críticos em pelo menos dezenove países que aderiram à Iniciativa Cinturão e Rota (Belt and Road Initiative – BRI), também conhecida como Nova Rota da Seda, envolvendo *joint ventures* e acordos de compra garantida (*offtake*), com no caso do cobalto na RDC (Gulley, 2024; Escobar *et al.*, 2025).

Conforme será mostrado com detalhes nas seções seguintes, a China também é detentora de grandes reservas de muitos minerais, grande produtora e maior importadora mundial. A hegemonia na produção e no fornecimento de matérias-primas minerais, como apontado anteriormente, é parte decisiva da estratégia chinesa de constituir cadeias produtivas altamente verticalizadas, galgando elos de maior agregação de valor, a exemplo da manufatura de equipamentos e tecnologias de geração de energia renovável. A China vem atuando estrategicamente nessa direção desde os anos 1990 (Humphreys, 2015; Zhu, Ding e Chen, 2022; Shiquan e Deyi, 2023; Ericsson, 2024).

A literatura mostra que, de um lado, países que se posicionam como grandes importadores detêm poder de barganha e conseguem preferência na comercialização e melhores contratos de compra, ampliando suas capacidades de desenvolvimento de tecnologias de geração de energia renovável (são exemplos China, Coreia do Sul, Japão e Alemanha, como será mostrado mais adiante). De outro lado, países que se posicionam como grandes exportadores também têm vantagens no desenvolvimento de tecnologias de geração de energia renovável, pelo acesso abundante e barato a fontes minerais de alta qualidade. Deter capacidades de promover progresso tecnológico em

11. Ver figura A.1 retirada no apêndice A (IEA, 2021).

TEXTO para DISCUSSÃO

energias renováveis permite desenvolver tecnologias em elos produtivos adjacentes, aumentando a eficiência do uso de substâncias minerais (reduzindo, portanto, seus requerimentos físicos), melhorando as técnicas de extração e refino, e progredindo em técnicas de reúso e reciclagem (Zhu, Ding e Chen, 2022; Fikru e Kilinc-Ata, 2024; Mariev e Islam, 2025).

Mercados evoluem historicamente e tipos variados de *path dependence* se estabelecem; com os minerais críticos, não foi diferente. Enquanto no mercado de petróleo a posição de vantagem negocial historicamente esteve na ponta vendedora, a vantagem negocial no mercado de minerais críticos consolidou-se na ponta compradora – sobretudo no que concerne à China, que, não coincidentemente, dominou os elos produtivos de processamento e refino de minerais em escala global. Portanto, a dominância desse país na ponta compradora de minérios e seus concentrados está na base de sua crescente dominância na ponta exportadora, no final da cadeia produtiva, de todos os equipamentos (incluindo suas partes e peças) de geração e transmissão de energia renovável, além de veículos eletrificados. Atualmente, 85% da produção global de baterias para carros eletrificados está na China. Ainda que uma parte dessa produção seja de empresas sul-coreanas com operações em solo chinês, 75% da produção na China é de controle acionário chinês. Além disso, mais da metade da produção mundial de carros elétricos provém do gigante asiático (IEA, 2025b).

Esse movimento chinês desenrolou-se por décadas, e só foi realmente compreendido nos últimos dez ou quinze anos, quando se iniciou, de fato, a transição energética, e os países desenvolvidos se engajaram no tema. Em 2010, o governo chinês impôs o banimento de exportações de terras-raras para o Japão, evidenciando o uso geopolítico de reservas minerais. Atualmente, a China mantém controle de exportações sobre diversas substâncias, e a Indonésia mantém proibição de exportação de minérios de bauxita e níquel. Nesse contexto, diversas nações, mais notadamente as economias desenvolvidas (Estados Unidos, Japão e União Europeia), lançaram políticas públicas de “minerais críticos e estratégicos”, tentando contornar a situação em alguma medida, por entenderem que suas cadeias industriais estariam em risco (McCullough e Nassar, 2017; Bobba et al., 2020; Castro, Peiter e Góes, 2022; Hool, Helbig e Wierink, 2024; Castro et al., 2024). Essas políticas abarcam ações das mais variadas: apresentação de critérios de classificação de criticidade; definição do conjunto de matérias-primas essenciais para cadeias produtivas variadas e usos específicos – para além da questão das energias renováveis, incluindo-se defesa, microeletrônica etc.; estímulo a inovações que reduzam a intensidade do uso de substâncias minerais e promovam rotas tecnológicas com materiais alternativos; diplomacia comercial junto aos principais produtores de minerais críticos, negociando garantias de não restrição de exportação de matérias-primas;

e, principalmente, apoio ao reúso, à reciclagem e à economia circular (McCullough e Nassar, 2017; De la Torre de Palacios e Espí Rodríguez, 2024; Xing *et al.*, 2025).

É certo que a constituição de mercados de reciclagem e a implementação de projetos economicamente viáveis de economia circular geram impactos ambientais positivos consideráveis, mas é preciso salientar que essa agenda está sendo impulsionada, em grande medida, por preocupações geopolíticas. A recuperação, por reúso ou reciclagem, em larga escala, de minerais embutidos em bens de consumo (sobretudo equipamentos eletroeletrônicos), instalações prediais e bens de capital descartados pode abrandar a pressão sobre a oferta das empresas de mineração e mitigar impactos ambientais e sociais nas diversas localidades mineradoras ao redor do planeta. Contudo, as iniciativas de economia circular dos países desenvolvidos, no contexto dos minerais críticos, visam reduzir as necessidades de importação, restringir o poder negociador da China, além de estimular inovações e novos negócios naqueles países. Esses são objetivos explícitos em documentos oficiais de entidades governamentais e não governamentais (Irena, 2023; IEA, 2024a; Hool, Helbig e Wierink, 2024).

Diante do exposto, é possível interpretar a geopolítica dos minerais críticos da transição energética em três grandes blocos, conforme descrito a seguir.

- 1) A China domina majoritariamente importantes elos da cadeia produtiva da produção de equipamentos e tecnologias de geração de energia renovável, e tem liderança na cadeia produtiva de veículos eletrificados. Posiciona-se como monopsonio no elo de minerais brutos e concentrados (para boa parte das substâncias), e tem poder de monopólio em alguns desses minérios (notadamente as terras-raras e a grafita). Ao longo da cadeia produtiva, no refino mineral, na produção de partes, peças e componentes, e no elo final, dos produtos finais (carros elétricos, turbinas eólicas, placas solares), a China é um dos maiores produtores e exportadores globais.
- 2) Todos os países, mais notadamente os desenvolvidos, são grandes importadores (especialmente da China, portanto) de equipamentos de geração de energia renovável, pois colocaram em marcha planos ambiciosos de descarbonização de suas economias e expandem rapidamente suas capacidades instaladas de energia verde. Parte deles compete com a China em alguns elos intermediários e produtos finais, como no refino de minérios, produção de componentes, baterias e carros eletrificados, como são os casos da Alemanha, do Japão, da Coreia do Sul e dos Estados Unidos. Essas nações possuem políticas ativas de remediação desse cenário de dependência de importações chinesas e de

TEXTO para DISCUSSÃO

incapacidade competitiva; esse grupo representa, assim, os países – sobretudo os desenvolvidos – que pretendem contestar o domínio chinês.

- 3) Reduzido grupo de países, com reconhecidas províncias minerais de classe mundial, se posicionam na base da cadeia produtiva, comercializando sua produção de minérios brutos e concentrados prioritariamente para o mercado chinês, ainda que Japão, Alemanha e Coreia do Sul também sejam importadores relevantes, mas em patamar inferior. Algumas nações lograram sucesso razoável em se posicionar em elos a jusante da cadeia produtiva, exportando minérios já processados e, eventualmente, matérias-primas químicas e metalúrgicas básicas, também quase que integralmente para a China; são complementares ao sistema chinês, portanto, e não seus concorrentes, fato endossado pela crescente participação de capital chinês em operações de extração e refino mineral nesse seleto grupo de países.

O restante dos países não se enquadra em nenhum dos três blocos, pois eles não possuem base mineral relevante e tampouco base industrial e tecnológica suficiente para se inserirem em qualquer dos elos dessa cadeia produtiva; são importadores de bens finais, apenas. O Brasil pertence ao terceiro bloco. As seções adiante apresentarão o papel desempenhado pelo país no contexto retratado até aqui.

3 DADOS E METODOLOGIA

As análises feitas neste trabalho se valeram de uma quantidade importante de dados de fontes variadas. O conjunto das substâncias analisadas é o seguinte: alumínio,¹² cobalto, cobre, cromo, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, grupo dos elementos platinoides, silício, grupo dos elementos de terras-raras e zinco. A escolha dessas substâncias está alinhada com o que usualmente consta na literatura, pela importância de cada uma delas nas diversas tecnologias de geração de energia renovável e de carros eletrificados (Watari *et al.*, 2019; IEA, 2021; Lèbre, Sharma e Corzo Remigio, 2024; Zhu, Ding e Chen, 2022; Berthet *et al.*, 2024; Collins *et al.*, 2024; IEA, 2025a, 2025b). São substâncias predominantes nas tecnologias que já se mostraram industrial e comercialmente paradigmáticas.¹³ Sobre essa questão, vale a citação a seguir.

A dificuldade da pesquisa sobre o tema está menos no conceito e mais na “escolha” dessas substâncias. No limite, praticamente toda a tabela periódica poderia

12. O alumínio entrou na análise pelo seu papel na indústria automobilística, na redução do peso dos veículos eletrificados, mais pesados, em média, que veículos a combustão interna (Dey, 2023).

13. Ver gráfico A.1 no apêndice A (Ibaram, 2024).

se enquadrar nessa definição, pois iniciativas experimentais de apresentar inovações disruptivas a partir de diversas substâncias são conduzidas em todo o mundo há muitos anos. Contudo, um grupo seletivo de substâncias representa o núcleo de análise, tanto pela sua ubiquidade quanto pela intensidade do seu uso nas tecnologias de transição energética, conforme apontado em relatório da Agência Internacional de Energia ([International Energy Agency] – IEA) (Leão *et al.*, 2024a, p. 8).

Para as análises de reservas minerais mapeadas, foram utilizadas informações do *Mineral commodity summaries 2024* (USGS, 2024), publicação do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) que reúne estatísticas de diversos países, oriundas de órgãos geológicos nacionais, institutos de pesquisa e consultorias especializadas. Essa publicação traz informações outras, além de reservas, como produção, capacidade de refino, e dados de consumo e preços praticados nos Estados Unidos.

Para os dados de produção mineral, utilizou-se o *World Mining Data 2025* (WMD), publicação realizada pelo Ministério das Finanças do Governo Austríaco em parceria com o International Organizing Committee for the World Mining Congress (IOC e WMC, respectivamente). O IOC é o comitê internacional permanente que organiza o WMC a cada dois ou três anos – o evento teve início em 1958. O WMC conta com representantes de diversos países, inclusive do Brasil. Os dados dessa publicação contemplam 65 matérias-primas (minerais e energéticas) de 168 países. O governo austríaco coleta os dados por meio de questionários enviados a todos os membros do WMC, embaixadas e representações comerciais de outras nações. Dados publicados pelo USGS e pelo serviço geológico britânico (British Geological Survey – BGS) são utilizados para conferência e revisão, segundo a publicação. Os dados disponíveis vão de 2017 a 2023.¹⁴ É possível que o leitor, ao tentar comparar fontes distintas, encontre alguma divergência – por exemplo, tentar comparar os dados do WMD com informações do USGS. Sempre que os autores se depararam com alguma divergência, ela foi reportada em nota de rodapé ao longo do texto, mas não houve um esforço exaustivo de busca por toda e qualquer diferença possível. É importante que o leitor saiba que os autores não fizeram auditoria de dados, tentando dirimir divergências.

Os dados de comércio exterior foram extraídos do World Integrated Trade Solution (WITS), do Banco Mundial.¹⁵ Essa é uma ferramenta de compilação, integração e divulgação de dados da United National Statistical Division Commodity Trade (UN Comtrade), da United National Commerce and Trade and Development Trade Analysis

14. Disponível em: https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data.

15. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

TEXTO para DISCUSSÃO

Information System (Trains) e da World Trade Organization's Integrated Data Base (IDB). Foram extraídos do WITS os dados de importação de diversos produtos, com identificação de origem e destino, entre 2002 e 2023. Os dados de importação tendem a ser mais confiáveis que os de exportação, segundo notas do próprio WITS.¹⁶ Não há registros, por exemplo, das exportações de minérios de cobalto da RDC e de bauxita (minério de alumínio) da Guiné, mas há registros das importações dessas substâncias por outros países, provenientes dessas nações. A informação de exportação, assim, é obtida pela identificação do parceiro comercial dos registros de importações nos dados extraídos. Para seleção dos produtos da classificação internacional Harmonized System Nomenclature (HS) referentes ao primeiro e segundo elos das cadeias produtivas dos minerais críticos, foi utilizada como referência a metodologia desenvolvida na Matriz de Relacionamentos de Classificações de Produtos e de Atividades Econômicas do Setor Mineral (Oliveira, 2022); o conjunto de códigos do HS utilizado para compilar as estatísticas está no apêndice A.

O primeiro elo da cadeia produtiva contempla os produtos da atividade extrativa mineral, ou seja, os minérios em estado bruto e concentrado. O segundo elo contempla os minérios refinados e processados, produtos das indústrias metalúrgicas e químicas. Por exemplo, no primeiro elo, o cobalto está descrito como “minérios de cobalto e seus concentrados”; no segundo elo, há quatro produtos oriundos da transformação metalúrgica ou química do cobalto, a saber: i) óxidos e hidróxidos de cobalto; ii) pós e mates de cobalto; iii) mates de cobalto e outros produtos intermediários da metalurgia do cobalto; e iv) desperdícios e resíduos da metalurgia do cobalto. O primeiro elo, assim, está na indústria extrativa, enquanto o segundo está na indústria de transformação.

A seção sobre comércio exterior é a única que avança até o segundo elo da cadeia produtiva, por ser a única temática que possui dados abrangentes desse elo. Para produção e investimentos, os dados eram demasiadamente agregados, englobando diversos produtos e substâncias não pertinentes ao escopo deste trabalho.

Ainda sobre comércio exterior, foram utilizados dados de cotações internacionais de *commodities* minerais e metálicas do Banco Mundial e do Fundo Monetário Internacional (FMI), respectivamente World Bank Commodity Price Data¹⁷ e IMF Primary Commodity Prices¹⁸ – mais detalhes acerca dos índices utilizados estão apontados mais adiante, junto às análises.

16. Disponível em: https://wits.worldbank.org/wits/wits/witshelp/content/data_retrieval/T/Intro/B2.Imports_Exports_and_Mirror.htm.

17. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>.

18. Disponível em: <https://www.imf.org/en/Research/commodity-prices>.

As projeções utilizadas provêm da IEA. As projeções de demanda mineral para as próximas décadas constam no Critical Minerals Dataset;¹⁹ as projeções da evolução do mercado global de carros eletrificados constam no Global EV Data.²⁰ A IEA trabalha todas as suas projeções em três cenários distintos, conforme explicitado a seguir.

- Stated Policies Scenario (Steps), que é basicamente o mundo como ele é hoje, com políticas públicas já em operação e rotas tecnológicas já estabelecidas.
- Announced Pledges Scenario (APS), que é o cenário que incorpora a implementação de compromissos climáticos e ambientais recém-assumidos por governos e pelo setor privado. Esse cenário, portanto, tem projeções mais arrojadas para a transição energética e, portanto, para a demanda futura de minerais críticos.
- Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE), o mais arrojado e ambicioso de todos, é o cenário elucubrado para neutralidade de emissões líquidas para o setor energético em escala global (IEA, 2024b).

Este trabalho dialoga com o cenário Steps, o mais conservador de todos. Como o leitor notará, especialmente na seção 6, esse cenário já coloca imensa pressão sobre a atividade mineradora.

Os dados de investimento em capital físico utilizados foram extraídos da tabela 7243 da Pesquisa Industrial Anual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PIA/IBGE),²¹ que contém informações sobre a estrutura do investimento das empresas industriais com trinta ou mais pessoas ocupadas no Brasil. Utilizaram-se também dados do *Relatório Anual de Lavras*²² e da *Declaração de Investimento em Pesquisa Mineral da ANM* (Dipem/ANM),²³ que contém informações dos investimentos na fase de lavra e os dispêndios em pesquisa mineral, por substância, dos titulares de alvarás de pesquisa vigentes, respectivamente. Os dados de investimento foram deflacionados pelo índice de preços da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF) das Contas Nacionais Trimestrais do IBGE – no caso dos dados da PIA – e pelo Índice Geral de Preços de Mercado (IGPM) – no caso dos dados do RAL e da Dipem/ANM.

19. Critical Minerals Dataset (IEA). Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/critical-minerals-dataset>.

20. Global EV outlook (IEA). Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/global-ev-outlook-2024>.

21. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7243>.

22. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/anuario-mineral-brasileiro-amb>.

23. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/dipem>.

4 RESERVAS GLOBAIS E PRODUÇÃO

O Brasil é frequentemente apontado como potência no setor mineral, sendo detentor de importantes reservas de diversos minerais e grande produtor (Ibram, 2024; USGS, 2024; Deloitte, 2025). Na cesta de minerais críticos da transição energética, essa é uma realidade com nuances importantes: o Brasil possui reservas mapeadas modestas para parte dessas substâncias e enormes para outras; além disso, a produção mineral está em queda ou estagnada há muitos anos em praticamente todas elas. Mesmo no grupo de substâncias em que o país de fato possui amplas reservas, a produção, nos últimos anos, não condiz com o tamanho potencial sugerido pelas reservas mapeadas.

Como pode ser visto no gráfico 1, o país detém reservas importantes de grafita, terras-raras, manganês, níquel e bauxita. Quanto às demais substâncias (cobalto, cobre, cromo, platinoides e zinco), o USGS não apresenta dados para o Brasil, sugerindo baixa relevância em termos globais;²⁴ o USGS evidencia, contudo, que o país possui 1,4% das reservas de lítio. Outras fontes, incluindo o Serviço Geológico do Brasil, sugerem que o país detenha entre 1% e 2,7% das reservas globais de cobre (Ibram, 2024; Silva, Cunha e Costa, 2023; Silva, Silva e Souza Gaia, 2024), com o Chile, o Peru e a Austrália detendo 19%, 12% e 10%, respectivamente.

As maiores reservas mundiais mapeadas de grafita estão localizadas na China (78 milhões de toneladas) e no Brasil (74 milhões de toneladas); juntos, os dois países respondem por quase dois terços das reservas globais de 280 milhões de toneladas. No caso das terras-raras, a China detém 40% das 110 milhões de toneladas mapeadas, e o Brasil disputa com o Vietnã o segundo lugar, detendo 19%, contra 20% das reservas do país asiático. As reservas brasileiras de manganês também são relevantes, colocando-nos na terceira colocação, atrás de Austrália (26,3%) e África do Sul (31,6%); as reservas globais são estimadas em 1,9 bilhão de toneladas.

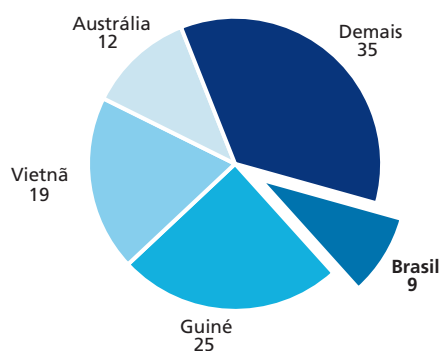
O Brasil também é o terceiro colocado no *ranking* das reservas de níquel, detendo 12,3% das quase 130 milhões de toneladas mapeadas; Indonésia (42,3%) e Austrália (18,5%) lideram. O Brasil é o quarto colocado nas reservas de bauxita, detendo 9% das 30 bilhões de toneladas mundiais, com a Guiné (24,7%), o Vietnã (19,3%) e a Austrália (11,7%), nessa ordem, na liderança. Finalmente, no caso do lítio, o país detém 1,4% das reservas globais (estimadas em 28 milhões de toneladas) e situa-se na oitava posição; Chile (33,2%), Austrália (22,1%) e Argentina (12,9%) possuem as maiores reservas globais.

24. O Brasil possui reservas, mas elas não têm relevância comercial perto das de outros países.

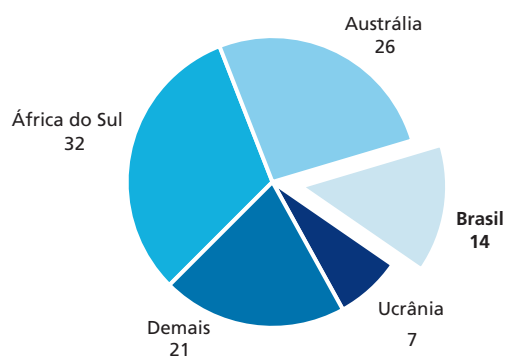
GRÁFICO 1**Distribuição das reservas globais mapeadas e estimadas e participação do Brasil (2023)**

(Em %)

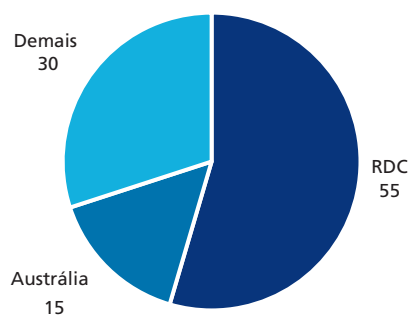
1A – Bauxita



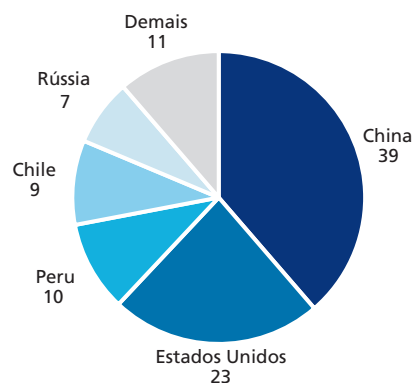
1B – Manganês



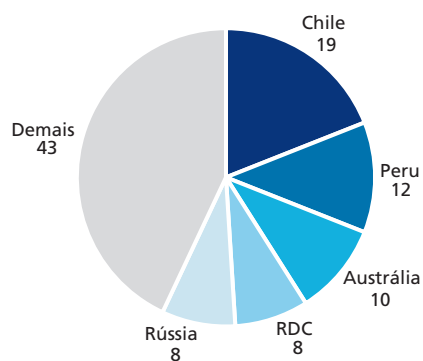
1C – Cobalto



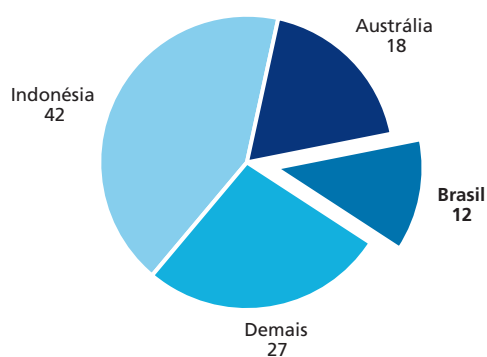
1D – Molibdênio



1E – Cobre

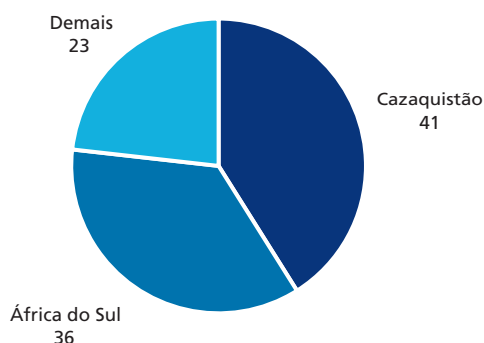


1F – Níquel

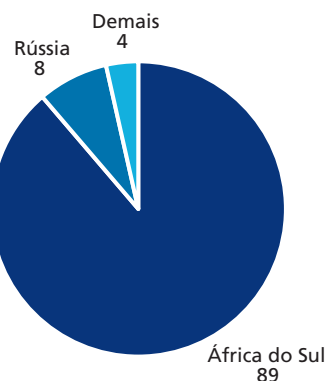


TEXTO para DISCUSSÃO

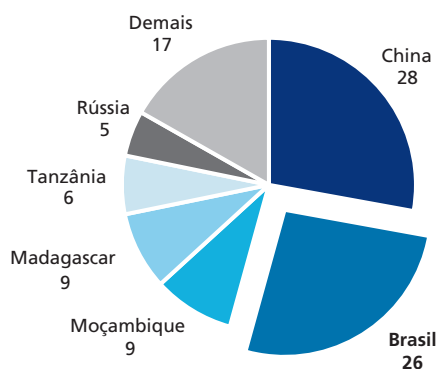
1G – Cromo



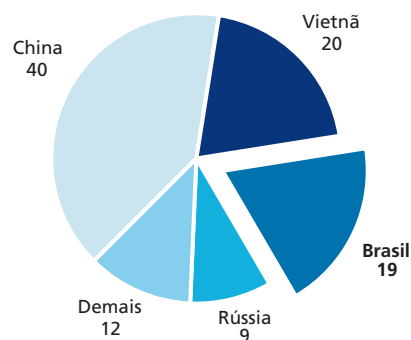
1H – Platinoides



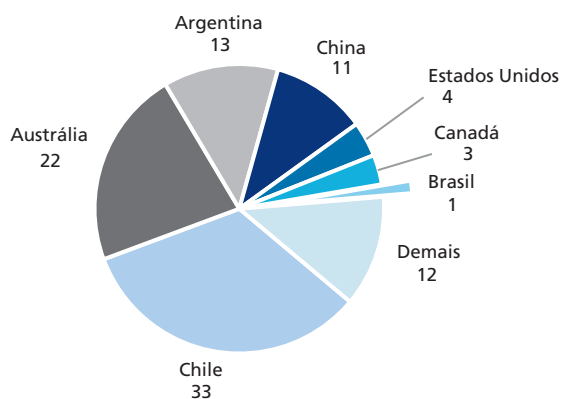
1I – Grafita



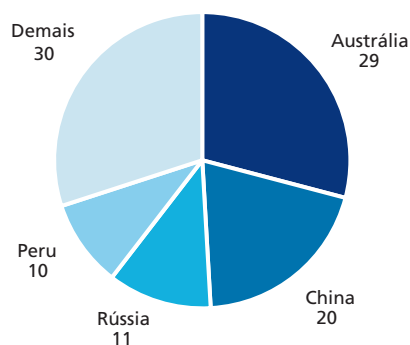
1J – Terras-raras



1K – Lítio



1L – Zinco



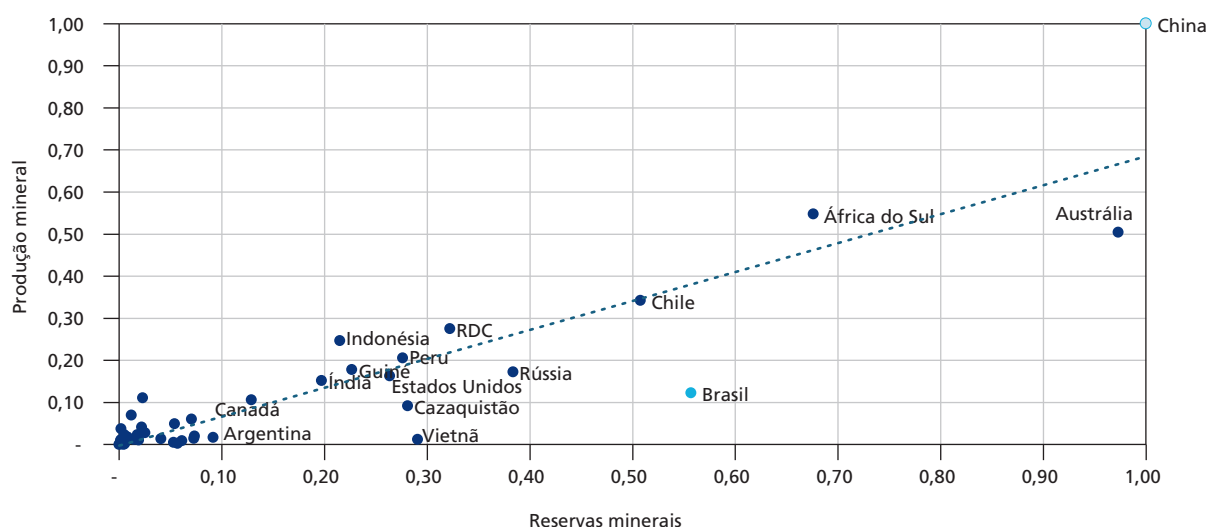
Fonte: USGS (2024).
Elaboração dos autores.

Deter reservas de grandes dimensões não é condição suficiente para garantir elevados patamares de produção. Para os depósitos minerais, o diferencial de qualidade é função da profundidade da jazida, do teor do mineral economicamente aproveitável na rocha e da geografia de acesso da área. Custos de extração, que envolvem diversos critérios (qualidade das reservas, dificuldades logísticas, proximidade do mercado consumidor, questões ambientais, dificuldades legais e regulatórias etc.), se impõem

e modificam sensivelmente o posicionamento e a importância dos países no mercado mundial de cada uma dessas substâncias. Há diferenças de qualidade entre as jazidas: aquelas de menor custo marginal são exploradas preferencialmente (Souza, 1995; Crowson, 2003, 2011; Northey, Mudd e Werner, 2018). Ainda assim, num comparativo internacional, é de se esperar que, na média, o tamanho das reservas seja indicativo do tamanho da produção, como pode ser visto no gráfico 2.²⁵ Existem desvios à média, contudo. A China tem reservas comparáveis às da Austrália, mas tem o dobro de sua produção. Outros grandes produtores já mencionados, como a própria África do Sul, o Chile, a RDC e a Indonésia, estão próximos à média. O Brasil, contudo, aparece como um desvio à média especialmente negativo. Suas reservas agregadas são superiores às do Chile, por exemplo, mas a produção chilena é mais do que o dobro da brasileira, esta situada no patamar de países com reservas agregadas inferiores.

GRÁFICO 2

Reservas e produção total dos minerais críticos da transição energética (2023)



Fonte: USGS (2024) e WMD. Disponível em: https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data.
Elaboração dos autores.

Obs.: Produção e reservas normalizadas substância por substância, para se permitir agregação.

25. Não é possível somar quantidades físicas de substâncias diferentes, por não serem diretamente comparáveis. A solução encontrada foi a normalização das quantidades físicas da produção e das reservas, atribuindo-se 100 ao valor máximo de produção e reserva de cada substância, reescalando-se o restante das observações a partir desse parâmetro máximo. Por exemplo: a produção máxima de cobre no ano de 2023 foi a do Chile; atribuiu-se a esse máximo o valor 100, e as demais produções dos demais países foram assim reescaladas. Esse procedimento foi feito para todas as substâncias. Esses valores normalizados de cada substância foram somados, apresentando-se uma quantidade total de produção/reserva mineral, por país, para a cesta de minerais em análise. Para apresentação gráfica, esses totais foram normalizados novamente, para se manterem entre 0 e 1.

TEXTO para DISCUSSÃO

Não apenas o país se posiciona no *ranking* da produção global em patamares inferiores à sua posição nas reservas mapeadas, como também está na contramão da tendência mundial em todos os minérios analisados, com exceção do lítio. Como pode ser visto na tabela 1, a participação do Brasil no volume físico produzido globalmente, entre 2017 e 2023, foi declinante ou estagnada. A taxa anual média de evolução da produção física é negativa em quase todos os casos; naqueles em que a produção nacional cresceu, a velocidade foi muito inferior à média global – esses são os casos do níquel e do zinco; neste último, a produção brasileira esteve estagnada entre 2017 e 2022, mas em 2023 deu um salto, aumentando a média do período. No segmento do lítio, de fato, apresenta comportamento bastante competitivo, crescendo 75% ao ano (a.a.), em média, contra a média global de 20%, o que o posiciona como o sexto maior produtor, detendo a oitava maior reserva. Em 2022, o Brasil era o quinto maior produtor, mas o Zimbábue, que tem reservas inferiores, multiplicou por nove sua produção entre 2022 e 2023, ultrapassando o país (Mkodzongi, 2024; USGS, 2024).

Para as substâncias mostradas no gráfico 1, aqueles segmentos em que o país se posiciona como detentor de algumas das maiores reservas globais, as quantidades produzidas, no período analisado, ficaram muito aquém do potencial. Com exceção do lítio, do níquel e do zinco, a produção brasileira caiu, entre 2017 e 2023, em todas as substâncias. Enquanto a produção global de bauxita cresceu quase 3,8% a.a., em média, a produção brasileira caiu 2,8% a.a. – de 38 milhões de toneladas, em 2017, para pouco mais de 32 milhões em 2023. A Guiné, em comparação, quase triplicou sua produção nesse período, de 51,7 milhões para 123 milhões de toneladas.

No que respeita à grafita, a discrepância é ainda maior: o Brasil, detentor da segunda maior reserva mundial, viu sua produção sofrer queda anual média de 8,4%, diante do crescimento global de 10% a.a. Moçambique e Madagascar, que possuem um terço das reservas brasileiras, expandiram suas produções múltiplas vezes: 206 vezes e 8,7 vezes, respectivamente – de 802 toneladas, em 2017, para 165 mil toneladas, em 2022, no caso moçambicano, e de 13,3 mil para 114,6 mil toneladas, no caso malgaxe, até 2022. Em 2023, ambos os países tiveram quedas importantes, de 41% (Moçambique) e 47% (Madagascar), enquanto a Índia cresceu quase 42%.²⁶ A produção indiana é o dobro da brasileira, tendo a Índia reservas quase dez vezes menores.

No segmento de terras-raras, a pequena produção nacional caiu 6,4% a.a., enquanto a produção mundial cresceu 19,4% a.a.; finalmente, quanto ao níquel, a produção

26. De acordo com o *Sumário mineral brasileiro 2023: grafita*, a produção de Madagascar foi de 133 mil toneladas. A fonte primária citada no sumário é o *Mineral commodities summaries 2024*, do USGS (USGS, 2024). O sumário pode ser acessado em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2023->.

brasileira evoluiu positivamente, crescendo 0,9% a.a., de 68 mil toneladas, em 2017, para 72 mil toneladas em 2023, após ter alcançado 79 mil toneladas em 2022. Contudo, em nível mundial, o crescimento foi de quase 9,5% a.a., até 2023, puxado primordialmente pela Indonésia, que quintuplicou sua produção, a qual saiu de 363 mil para mais de 2,03 milhões de toneladas no período em análise. O Brasil produz quantidades insignificantes de cobalto, e não produz molibdênio ou elementos platinoides; com exceção do cobalto, cuja produção mundial (puxada pela RDC) subiu 6,1% em média no período, a produção dessas substâncias permaneceu estagnada.

É possível, contudo, que esse cenário de estagnação esteja próximo ao fim, pelo menos para alguns minerais. Os dados apontam um incremento importante da produção física mineral do país no ano de 2023.²⁷ Cobre (26%), lítio (93%), manganês (52%) e zinco (25%) apresentaram taxas de crescimento impressionantes (especialmente o lítio, que dobrou sua produção) na comparação entre 2023 e 2022; no entanto, as produções de grafita e terras-raras (as duas substâncias nas quais o país tem maior destaque em termos de reservas mundiais) ostentaram queda de 23% e 19%, respectivamente. A bauxita manteve-se estável e o cromo sofreu queda de 11,5%.

TABELA 1

Participação na produção física¹ mundial de minerais críticos da transição energética (2017-2023)

		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Acumulado	Taxa média a.a. 2017-2023 (%)
Bauxita	Mundo (1 milhão t)	311,86	337,38	363,69	379,03	376,45	398,27	390,90	2.557,58	3,8
	Brasil (1 milhão t)	38,07	32,38	31,94	32,90	33,36	31,61	32,03	232,29	-2,8
	Brasil (%)	12,2	9,6	8,8	8,7	8,9	7,9	-	9,1	-
Cobalto	Mundo (1 mil t)	138,69	158,32	124,43	129,68	132,63	164,90	197,48	1.046,12	6,1
	Brasil (1 mil t)	0,19	0,00	0,00	0,03	0,04	0,01	0,17	0,43	-1,9
	Brasil (%)	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	-
Cobre	Mundo (1 milhão t)	20,08	20,68	20,63	21,08	21,45	22,01	22,46	148,40	1,9
	Brasil (1 milhão t)	0,38	0,39	0,36	0,35	0,34	0,30	0,38	2,50	-0,4
	Brasil (%)	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,7	-
Cromo	Mundo (1 milhão t)	14,14	15,19	15,78	11,97	14,91	14,72	14,54	101,25	0,5
	Brasil (1 milhão t)	0,21	0,22	0,20	0,23	0,25	0,22	0,19	1,52	-1,5
	Brasil (%)	1,5	1,4	1,3	1,9	1,7	1,5	1,3	1,5	-

(Continua)

27. Taxas de crescimento baseadas no percentual contido da produção beneficiada, disponíveis no endereço eletrônico: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODIyOWJlMTgtZTBiNi00ODFhLWJiOGEtYzlmOWM3MjhmMWQ4IiwidCI6ImEzMDgzZTlxLTc0OWItNDUzNC05YWZhLTU0Y2MzMtTg4OTdiOCJ9>. Acesso em: 15 fev. 2025.

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Acumulado	Taxa média a.a. 2017-2023 (%)
Grafita	Mundo (1 milhão t)	0,90	1,56	1,62	1,39	1,65	1,73	1,66	10,51	10,8
	Brasil (1 milhão t)	0,10	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,06	0,53	-8,4
	Brasil (%)	10,6	5,1	5,1	4,8	4,8	4,2	3,4	5,0	-
Lítio	Mundo (1 mil t)	162,72	198,97	192,11	187,00	234,73	353,20	499,95	1.828,67	20,6
	Brasil (1 mil t)	0,53	0,79	2,58	4,07	5,67	7,86	15,19	36,69	74,8
	Brasil (%)	0,3	0,4	1,3	2,2	2,4	2,2	3,0	2,0	-
Manganês	Mundo (1 milhão t)	18,76	19,61	21,16	19,62	20,58	20,28	20,23	140,24	1,3
	Brasil (1 milhão t)	1,34	1,31	1,45	0,93	0,60	0,56	0,85	7,05	-7,4
	Brasil (%)	7,2	6,7	6,9	4,8	2,9	2,8	4,2	5,0	-
Molibdênio	Mundo (1 mil t)	285,38	270,10	277,18	284,87	270,71	265,13	291,68	1.945,05	0,4
	Brasil (1 mil t)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brasil (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	Mundo (1 milhão t)	2,14	2,38	2,69	2,50	2,86	3,24	3,69	19,50	9,5
	Brasil (1 milhão t)	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,49	0,9
	Brasil (%)	3,2	2,7	2,1	2,7	2,7	2,5	2,0	2,5	-
Terras-raras	Mundo (1 mil t)	133,24	182,19	203,67	229,89	269,50	299,42	385,32	1.703,23	19,4
	Brasil (1 mil t)	1,90	0,51	0,38	0,45	0,58	1,58	1,28	6,68	-6,4
	Brasil (%)	1,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,4	-
Zinco	Mundo (1 milhão t)	11,90	12,25	12,99	12,70	12,86	12,74	12,52	87,96	0,9
	Brasil (1 milhão t)	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,16	0,19	1,17	3,7
	Brasil (%)	1,3	1,4	1,3	1,4	1,2	1,2	1,5	1,3	-
Platinoides										
Paládio	Mundo (1 mil kg)	204,63	223,39	224,01	189,37	212,77	195,45	205,54	1.455,16	0,1
	Brasil (1 mil kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brasil (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Platina	Mundo (1 mil kg)	184,64	189,22	186,83	162,16	189,16	171,73	178,80	1.262,53	-0,5
	Brasil (1 mil kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brasil (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ródio	Mundo (1 mil kg)	23,07	22,94	23,73	20,64	24,41	22,55	22,84	160,18	-0,2
	Brasil (1 mil kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Brasil (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: WMD. Disponível em: https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Substância contida, e não o *run of mine* (ROM).

Obs.: 1. No caso da bauxita, a conferência com os dados do Anuário Mineral Brasileiro (AMB) indica que a fonte WMD se refere à quantidade beneficiada, e não à quantidade contida.

2. As linhas *Brasil (%)* indicam a participação do Brasil na produção ano a ano.

5 O COMÉRCIO INTERNACIONAL

Esta seção se divide em três subseções: 5.1 – *Primeiro elo: minérios e concentrados*; 5.2 – *Segundo elo: matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos*; e 5.3 – *A visão integrada dos mercados e o posicionamento do Brasil*. Os números apresentados estão em dólares americanos correntes (US\$ correntes).

5.1 Primeiro elo: minérios e concentrados

O comércio internacional de minerais críticos da transição energética cresceu mais de treze vezes (em US\$ correntes) entre 2002 e 2023, partindo do patamar de cerca de US\$ 13 bilhões para aproximadamente US\$ 174 bilhões. No acumulado desse período, o minério de cobre representou 57% do valor total, seguido de longe pelo zinco e pelo manganês, com 9,4% e 6%, respectivamente (tabela 2). A evolução desse fluxo comercial não foi contínua, entretanto, com algumas substâncias apresentando oscilações importantes, especialmente em momentos de crise (como em 2008-2009 e 2015-2016), mas a tendência geral foi de crescimento.

TEXTO para DISCUSSÃO

TABELA 2

Comércio internacional¹ de minerais críticos da transição energética: minérios e seus concentrados (primeiro elo da cadeia produtiva), detalhamento por substância (2002-2023)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Acumulado		
US\$	1,18	1,22	1,73	2,22	2,35	3,43	4,47	2,36	3,28	4,11	4,14	5,91	4,59	4,95	3,97	5,09	6,29	7,14	6,97	7,29	9,41	10,63	102,74		
Alumínio	1 bilhão	%	9,0	7,7	6,5	5,8	4,0	4,6	5,7	4,5	4,2	4,5	4,8	6,3	5,1	6,7	5,7	6,6	6,5	4,8	5,6	6,1	5,5		
US\$	0,11	0,11	0,45	0,40	0,42	0,57	1,43	0,75	1,18	1,10	0,64	0,55	0,66	0,59	0,33	0,55	0,92	0,24	0,15	0,12	0,21	0,08	11,55		
Cobalto	1 bilhão	%	0,8	0,7	1,7	1,1	0,7	0,8	1,8	1,4	1,5	1,2	0,7	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	0,2	0,1	0,1	0,0	0,6	
US\$	5,93	7,19	11,98	16,09	32,26	36,98	37,46	30,46	46,15	53,02	51,67	56,37	53,47	44,87	43,67	57,88	63,12	59,83	64,53	95,31	97,41	98,37	1.064,03		
Cobre	1 bilhão	%	45,1	45,1	45,3	41,8	54,7	49,3	47,6	58,6	57,5	59,6	60,4	60,0	60,3	62,2	59,4	56,1	55,1	59,8	62,9	57,9	56,3	57,1	
US\$	0,26	0,37	0,72	0,97	1,11	2,11	3,99	1,73	2,81	3,22	2,87	3,08	2,40	2,22	1,99	4,01	3,54	3,16	2,41	3,09	3,92	5,56	55,55		
Cromo	1 bilhão	%	2,0	2,3	2,7	2,5	1,9	2,8	5,1	3,3	3,6	3,5	3,3	2,7	3,0	2,8	4,1	3,2	2,9	2,2	2,0	2,3	3,2	3,0	
US\$	0,18	0,16	0,20	0,24	0,24	0,30	0,42	0,28	0,43	0,60	0,48	0,44	0,47	0,42	0,39	0,46	0,61	0,62	0,48	0,65	0,90	0,70	9,68		
Grafita	1 bilhão	%	1,4	1,0	0,8	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	
Lítio e terras-raras e corantes	US\$	0,67	0,73	0,88	0,96	0,97	1,04	1,36	0,98	1,15	1,41	1,38	1,36	1,28	1,18	1,17	1,98	2,64	2,35	1,82	2,90	10,71	16,82	55,71	
%	5,1	4,6	3,3	2,5	1,6	1,4	1,7	1,9	1,5	1,5	1,6	1,5	1,4	1,6	1,7	2,0	2,3	2,2	1,7	1,9	6,4	9,6	3,0		
US\$	0,70	0,86	1,51	1,79	1,56	2,88	8,82	3,41	5,77	5,41	4,54	5,43	4,96	3,66	3,37	7,02	9,31	9,33	7,01	7,92	8,82	6,96	111,04		
Manganês	1 bilhão	%	5,3	5,4	5,7	4,7	2,6	3,8	11,2	6,6	7,4	5,9	5,2	5,8	5,6	4,9	4,8	7,2	8,3	8,6	6,5	5,2	4,0	6,0	
US\$	0,99	1,07	0,80	1,12	1,39	1,87	1,81	1,60	1,59	2,61	2,60	2,78	3,11	2,66	3,41	3,46	4,45	5,81	7,77	8,95	8,99	10,06	78,92		
Metais preciosos	%	7,6	6,7	3,0	2,9	2,4	2,5	2,3	3,1	2,0	2,8	3,0	3,0	3,5	3,6	4,9	3,6	4,0	5,4	7,2	5,9	5,3	4,2		
US\$	0,81	1,21	3,89	9,41	7,45	8,70	8,77	3,15	4,73	5,51	4,22	3,45	4,00	2,30	1,89	2,80	4,22	4,45	3,63	5,36	6,10	8,45	104,49		
Molibdênio	1 bilhão	%	6,1	7,6	14,7	24,5	12,6	11,6	11,2	6,0	6,0	4,9	3,7	4,5	3,1	2,7	2,9	3,8	4,1	3,4	3,5	3,6	4,8	5,6	
US\$	0,43	0,63	1,12	1,28	1,74	4,97	4,05	2,01	3,61	6,97	6,87	6,56	6,02	4,02	2,57	2,93	3,96	4,96	3,95	5,87	6,15	5,12	85,78		
Níquel	1 bilhão	%	3,3	4,0	4,2	3,3	2,9	6,6	5,1	3,9	4,6	7,6	7,9	7,0	6,8	5,4	3,7	3,0	3,5	4,6	3,7	3,9	3,7	2,9	4,6
US\$	0,06	0,07	0,09	0,11	0,14	0,22	0,25	0,15	0,27	0,36	0,29	0,28	0,39	0,41	0,42	0,53	0,54	0,57	0,56	0,80	0,93	1,40	8,85		
Quartzo (silício)	%	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,5		
US\$	1,82	2,30	3,05	3,87	9,39	11,91	5,85	5,13	7,46	7,87	6,96	7,07	7,82	7,12	6,99	10,79	12,81	10,09	8,56	13,19	14,67	10,69	175,41		
Zinco	1 bilhão	%	13,9	14,5	11,5	10,1	15,9	15,9	7,4	9,9	9,5	8,0	7,6	8,8	9,6	10,0	11,1	11,4	9,3	7,9	8,7	6,1	9,4		
Total	US\$	13,15	15,92	26,43	38,47	59,01	74,97	78,68	52,00	78,43	92,19	86,65	89,17	74,39	70,18	97,53	112,43	108,55	107,84	151,43	168,21	174,85	1.863,75		
1 bilhão																									

Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: A porcentagem é a participação do mineral no total no ano.

Dinâmicas específicas a cada uma das substâncias também geraram efeitos notáveis, como o minério de cobalto, cuja comercialização internacional regrediu a mínimas históricas após elevação súbita na primeira década do século, e o lítio, que assistiu a forte aceleração da comercialização em anos recentes.

O crescimento desse fluxo comercial é resultado da combinação da expansão do volume físico e da elevação dos preços das *commodities* minerais. Como pode ser visto no gráfico 3,²⁸ enquanto o volume comercializado cresceu de forma praticamente constante, o comportamento dos preços deu o tom das altas e baixas do comércio internacional dos bens em análise. As quedas dos valores comercializados durante as crises internacionais de 2009 e 2015-2016 se deram majoritariamente pelas reduções acentuadas das cotações das *commodities* minerais e metálicas. O período de 2011 a 2016 é marcante, a esse respeito, pois, ainda que o volume comercializado tenha crescido com taxa anual média de 4,6% (25,2%, no acumulado), os valores ficaram estagnados, devido à queda anual média de 9,2% no índice de preços calculado pelos autores deste texto.

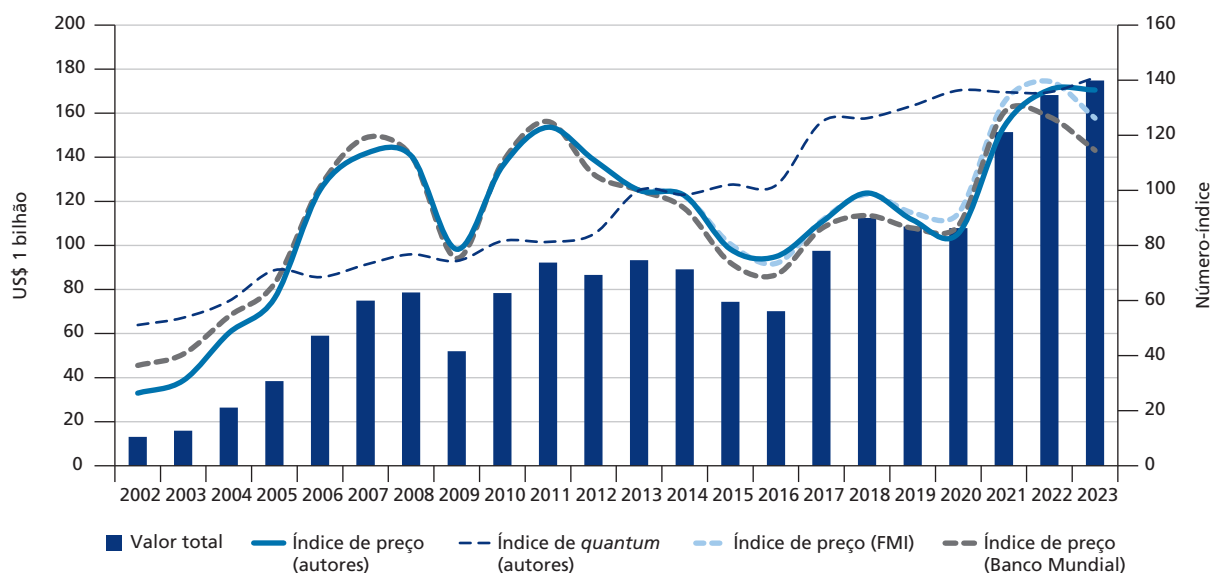
De 2016 em diante, a comercialização foi impulsionada pela expansão acelerada das importações chinesas (como será mostrado adiante), que provocaram: i) alta das cotações internacionais, as quais cresceram à taxa anual média de 8,7%; e ii) contínua expansão do volume físico comercializado, que cresceu à taxa de 4,8%, pelo cálculo dos autores deste texto.

28. Os índices de preços do gráfico 1 foram obtidos diretamente do World Bank Commodity Price Data e do IMF Primary Commodity Prices. O índice do Banco Mundial foi calculado, segundo nota metodológica da própria fonte, com as cotações internacionais do alumínio, cobre, chumbo, níquel, estanho e zinco em suas formas metálicas. O índice é representativo do movimento geral do segmento de *commodities* minerais e metálicas e tem função ilustrativa da dinâmica de preços de todo o segmento mineral. O índice do FMI, segundo notas metodológicas (IMF, 2019), é composto por alumínio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, lítio, manganês, molibdênio, níquel, paládio, platina, terras-raras, silício, prata, vanádio e zinco também em suas formas metálicas. Os índices de preço e *quantum* calculados pelos autores, do tipo índice de Fischer (Hoffman, 2013), a partir dos dados da própria base de dados WITS, foram baseados no valor e na massa (em kg) das importações de cobre, cromo, grafita, lítio, manganês, molibdênio, quartzo e zinco, em suas formas minerais. As informações da massa das demais substâncias são sugestivas de erro de registro na base de dados e, por isso, foram descartadas. De qualquer maneira, as utilizadas representam 85% do valor comercializado entre 2002 e 2023.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 3

Comércio internacional¹ de minerais críticos da transição energética (2002-2023)



Fonte: WITS/Banco Mundial e FMI. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>; e <https://www.imf.org/-/media/files/research/commodityprices/monthly/external-data.xls>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações

Obs.: 1. Minérios e concentrados de alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

2. Índices (base: 2013 = 100).

Os maiores exportadores, no acumulado desses 22 anos, foram em ordem decrescente, Chile, Peru, Austrália, Indonésia e União Europeia,²⁹ basicamente pela relevância de suas reservas e produção de minérios de cobre (tabela 3); em 2023, no caso australiano, o lítio superou o cobre como principal produto exportado. Seja no eixo importador, seja no exportador, o cobre figura como elemento central da dinâmica do comércio internacional de minerais críticos para a transição energética, por ser a substância mais demandada, em termos físicos, para manufatura das tecnologias de geração e uso de energia renovável – incluindo-se carros eletrificados (IEA, 2021; Cathles e Simon, 2024; IEA, 2025a, 2025b).

29. Todos os registros dos 27 países-membros da União Europeia (mais o Reino Unido) foram agrupados sob a mesma designação para todo o período analisado.

TABELA 3

Maiores importadores e exportadores¹ de minerais críticos da transição energética: cinco primeiros países, no acumulado de 2002-2023
(Em US\$ 1 bilhão)

		2002	2013	2023
Importadores				
China	Valor	1,33	37,29	108,78
	Posição	3ª	1ª	1ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
União Europeia	Valor	4,50	15,99	20,84
	Posição	1ª	2ª	2ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Japão	Valor	2,94	12,74	14,12
	Posição	2ª	3ª	3ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Coreia do Sul	Valor	1,02	6,33	9,71
	Posição	4ª	5ª	4ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Índia	Valor	0,37	8,15	4,98
	Posição	7ª	4ª	5ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Demais	Valor	2,99	12,78	16,42
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Exportadores				
Chile	Valor	1,96	19,03	27,97
	Posição	1ª	1ª	1ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Peru	Valor	0,91	9,97	24,29
	Posição	6ª	3ª	3ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Austrália	Valor	1,47	11,29	24,81
	Posição	3ª	2ª	2ª
	Minério	Cobre	Cobre	Lítio ²
Indonésia	Valor	1,83	8,63	9,43
	Posição	2ª	4ª	5ª
	Minério	Cobre	Níquel	Cobre

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

		2002	2013	2023
União Europeia	Valor	1,15	5,61	6,69
	Posição	4ª	5ª	7ª
	Minério	Zinco	Cobre	Zinco
Demais	Valor	5,82	38,75	81,68
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre

Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://www.imf.org/-/media/files/research/commodityprices/monthly/external-data.xls>.

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

² Lítio, terras-raras e corantes.

Obs.: Principal minério importado/exportado pelo país em cada ano e posição do país no *ranking* em cada ano.

A União Europeia, que, no acumulado do período, situa-se como o quinto maior exportador (com o cobre e o zinco alternando na primeira colocação de principal substância exportada), caiu para a sétima colocação em 2023, sendo superada por África do Sul (pela expansão das exportações de cromo e metais preciosos, o que inclui os platinoides) e Guiné (pelo aumento de suas exportações de alumínio, que crescem continuamente desde 2016).

Ao longo do período analisado, o maior exportador de cobalto foi a RDC; o maior de minérios de alumínio, a Guiné; o maior de cromo, a África do Sul; o maior de grafita natural, a China; o maior de níquel foram as Filipinas; o maior de zinco foi o Peru; o maior de silício (quartzo) foram os Estados Unidos; o maior de manganês foi a África do Sul; o maior de molibdênio, o Chile; o maior de metais preciosos (incluindo platinoides), a África do Sul; e o maior de lítio, a Austrália.

Diferentemente do eixo exportador, que possui países líderes nas exportações de substâncias distintas, no eixo importador ocorre a dominação da China, da União Europeia e do Japão: em uma ou outra substância algum outro importador aparece na lista dos três principais. Em 2002, os cinco países mencionados na tabela 3 respondiam por 77,3% das importações globais, e, em 2023, responderam por 90,6%. No eixo exportador, a tendência é de estabilidade, com os cinco maiores exportadores listados na tabela 3 mantendo, aproximadamente, entre 55% e 53% do mercado, ao longo de todo o período.

Até 2007, a União Europeia liderava as importações, e, de 2008 em diante, a China tornou-se o maior importador do mundo, isoladamente, respondendo por 62,2% das importações globais em 2023; União Europeia e Japão, que, em 2002, respondiam por 56,6%, conjuntamente, em 2023, foram responsáveis por 20% do mercado global.

Nesse período, as importações chinesas cresceram 82 vezes em valor, enquanto as importações da União Europeia e do Japão aumentaram quase cinco vezes, apenas. A China é o maior importador mundial de minérios de alumínio, cromo, cobalto, cobre, lítio, manganês, metais preciosos, níquel, quartzo e zinco; a União Europeia lidera nas importações de grafita (substância cujo maior exportador mundial é a China) e molibdênio.

5.2 Segundo elo: matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos

A análise do comércio internacional de produtos do segundo elo da cadeia produtiva traz uma dinâmica geral parecida com a do primeiro elo, mas algumas nuances relevantes merecem ser destacadas. O comércio internacional de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos (produtos refinados, daqui em diante) cresceu cinco vezes entre 2002 e 2023, de pouco mais de US\$ 84 bilhões para quase US\$ 430 bilhões, em valores correntes, após ter alcançado comercialização máxima de US\$ 516 bilhões no ano anterior.

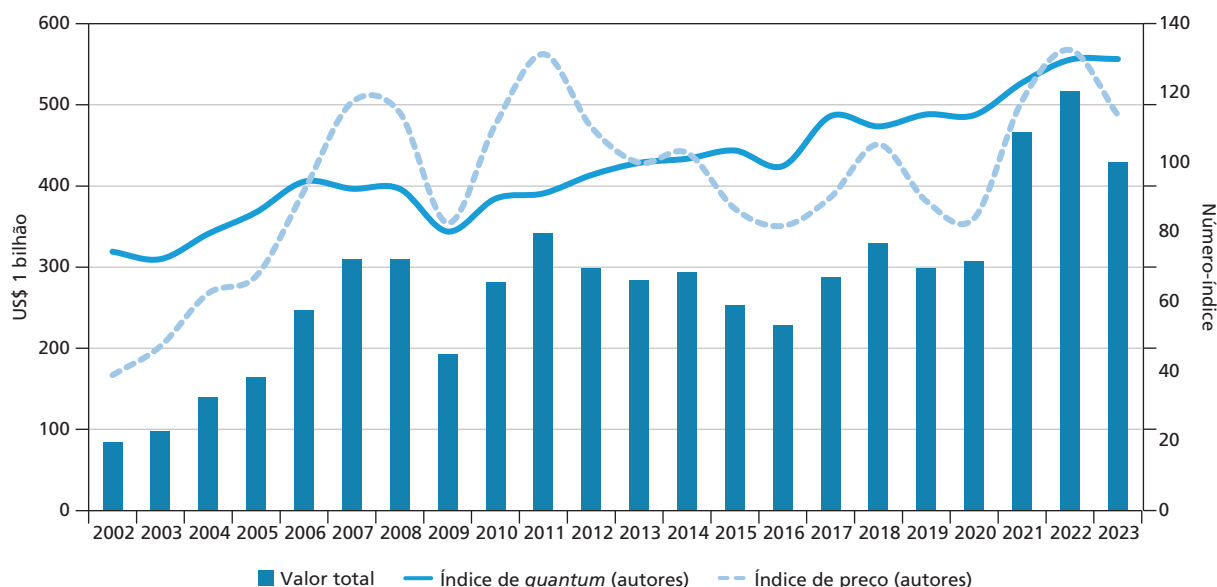
Crescendo à taxa anual média de 2,7%, o volume físico do comércio do segundo elo aumentou 1,7 vez em todo esse período – bem abaixo do verificado no primeiro elo, que cresceu 2,7 vezes no período, à taxa anual média de 4,9%. Os preços apresentaram comportamento volátil bastante similar ao verificado no segmento mineral, como pode ser visto no gráfico 4 (em comparação ao gráfico 3, de minérios e concentrados). O paralelismo entre os dois mercados é marcante, de sorte que o coeficiente de correlação entre os índices de preços de ambos é de 0,97, e o entre os índices de *quantum* é de 0,96.

Nesse segmento, os processados de cobre despontam como os principais itens comercializados globalmente, mas numa proporção bem mais reduzida do que o concentrado de cobre, no primeiro elo, de 31% no acumulado de 2002 a 2023, pouco acima dos processados de alumínio, que representaram 28%, como pode ser visto na tabela 4. É importante notar que os processados de cobre apenas superaram os de alumínio em importância econômica no comércio internacional a partir de 2008.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 4

Comércio internacional¹ de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos provenientes de minerais críticos da transição energética (2002-2023)



Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: 1. Alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

2. Índices de preço e *quantum* (base: 2013 = 100).

Em anos mais recentes, especialmente nos biênios 2020-2021 e 2022-2023, o grupo dos platinoídes e o lítio ostentaram crescimento expressivo, impulsionado por fortes elevações das cotações internacionais e incremento do volume físico comercializado. O caso do lítio é de particular interesse, devido a sua centralidade no processo construtivo das baterias utilizadas por veículos eletrificados (Ghorbani *et al.*, 2024). Ele já figurou, no passado, como elemento de baixa importância econômica, tanto no segmento extrativo mineral quanto no segmento de matérias-primas metalúrgicas e químicas. Contudo, em 2023, no segmento mineral, o minério de lítio e seus concentrados (somados os minérios de terras-raras e seus concentrados) foi o segundo mais comercializado, representando 9,6% da comercialização global; no segundo elo, o lítio (carbonatos, óxidos e hidróxidos de lítio) representou 4,4%, havendo um aumento exponencial, em valor, em relação aos anos anteriores. Nesse segmento, o Chile apresenta-se como o maior exportador global de processados de lítio, seguido pela China e pela Argentina. A Austrália, que domina as exportações de minério de lítio e seus concentrados, tem exportações ínfimas de processados de lítio.

TABELA 4

Comércio internacional¹ de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos provenientes de minerais críticos da transição energética: segundo elo da cadeia produtiva, detalhamento por item (2002-2023)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Alumínio																						
US\$ 1 bilhão	33,72	38,60	49,58	56,42	77,33	85,48	83,67	51,62	72,91	85,97	77,42	75,08	82,90	76,14	69,56	86,85	98,82	83,99	74,13	114,93	134,51	108,23
%	-	39,3	35,3	34,3	31,3	27,6	27,0	26,8	25,9	25,1	25,9	26,4	28,3	30,1	30,5	30,2	30,0	28,1	24,1	24,6	26,1	25,2
Cobalto																						
US\$ 1 bilhão	0,85	1,08	2,46	1,81	1,89	3,20	4,87	1,90	3,07	3,16	2,68	2,76	2,91	2,85	2,76	5,18	8,55	4,55	4,44	7,61	10,03	4,81
%	1,0	1,1	1,8	1,1	0,8	1,0	1,6	1,0	1,1	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,8	2,6	1,5	1,4	1,6	1,9	1,1
Cobre																						
US\$ 1 bilhão	16,93	18,77	30,63	38,95	71,54	83,99	82,80	62,34	97,71	119,61	115,28	107,06	100,44	82,96	74,58	92,44	103,61	91,96	96,42	144,08	145,06	133,32
%	20,0	19,1	21,8	23,7	28,9	27,1	26,7	32,3	34,7	35,0	38,5	37,7	34,3	32,8	32,7	32,2	31,4	30,8	31,3	30,9	28,1	31,1
Cromo																						
US\$ 1 bilhão	2,04	2,59	4,40	5,03	5,08	7,43	13,01	5,97	9,06	9,49	8,28	8,13	8,40	7,57	7,18	9,77	9,91	8,35	6,82	11,22	13,37	10,84
%	2,4	2,6	3,1	3,1	2,1	2,4	4,2	3,1	3,2	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,1	3,4	3,0	2,8	2,2	2,4	2,6	2,5
Grafita																						
US\$ 1 bilhão	0,83	0,96	1,13	1,15	1,27	1,75	2,48	1,46	1,83	2,25	2,31	2,08	2,04	1,85	1,48	1,85	2,48	2,44	2,23	2,79	3,77	3,59
%	1,0	1,0	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8
Lítio																						
US\$ 1 bilhão	0,12	0,14	0,18	0,22	0,31	0,45	0,49	0,35	0,42	0,50	0,55	0,49	0,53	0,63	1,17	1,75	2,39	2,57	2,03	2,75	15,89	18,96
%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,7	0,9	0,7	0,6	3,1	4,4
Manganês																						
US\$ 1 bilhão	2,29	2,73	5,58	4,70	4,54	7,54	13,59	5,27	8,23	8,82	7,32	6,84	7,34	5,59	4,71	7,96	8,48	7,21	5,52	9,90	12,02	6,92
%	2,7	2,8	4,0	2,9	1,8	2,4	4,4	2,7	2,9	2,6	2,4	2,4	2,5	2,2	2,1	2,8	2,6	2,4	1,8	2,1	2,3	1,6
Molibdênio																						
US\$ 1 bilhão	0,54	0,73	2,34	5,01	4,39	5,34	5,57	1,45	2,53	3,09	2,52	2,02	2,43	1,43	1,27	1,72	2,28	2,37	1,64	3,03	3,92	4,86
%	0,6	0,7	1,7	3,0	1,8	1,7	1,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,8	1,1
Níquel																						
US\$ 1 bilhão	9,00	12,68	18,88	21,08	31,90	52,02	33,93	19,25	30,40	37,11	28,42	25,97	30,08	24,28	19,27	21,78	26,72	27,64	26,90	39,39	57,79	53,71
%	10,6	12,9	13,5	12,8	12,9	16,8	10,9	10,0	10,8	10,8	9,5	9,1	10,3	9,6	8,4	7,6	8,1	9,2	8,7	8,4	11,2	12,5
Platinóides																						
US\$ 1 bilhão	10,67	11,01	13,46	16,95	25,41	32,61	40,28	23,56	27,77	36,52	27,60	28,72	27,58	23,86	21,23	26,35	32,81	40,25	63,52	96,30	78,03	52,51
%	12,6	11,2	9,6	10,3	10,3	10,5	13,0	12,2	9,9	10,7	9,2	10,1	9,4	9,4	9,3	9,2	10,0	13,5	20,7	20,6	15,1	12,2

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Silício	US\$ 1 bilhão	2,89	3,75	5,04	5,41	6,87	10,01	17,39	10,90	15,43	18,87	13,58	12,05	14,38	12,69	11,58	12,44	13,37	9,79	8,26	14,02	18,85	11,76
	%	3,4	3,8	3,6	3,3	2,8	3,2	5,6	5,5	5,5	4,5	4,2	4,9	5,0	5,1	4,3	4,1	3,3	2,7	3,0	3,7	2,7	
Terras-raras	US\$ 1 bilhão	0,32	0,35	0,42	0,47	0,76	1,21	1,26	0,58	1,09	4,09	2,07	1,24	1,21	1,10	1,21	1,25	1,23	1,25	1,35	2,44	2,95	3,39
	%	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	1,2	0,7	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8
Zinco	US\$ 1 bilhão	4,40	4,71	6,17	7,31	15,91	18,92	11,10	8,21	11,49	12,59	11,08	11,46	12,97	12,27	12,14	17,85	18,95	16,51	14,33	18,06	20,07	16,39
	%	5,2	4,8	4,4	4,4	6,4	6,1	3,6	4,3	4,1	3,7	3,7	4,0	4,4	4,8	5,3	6,2	5,7	5,5	4,7	3,9	3,9	3,8
Total	US\$ 1 bilhão	84,61	98,11	140,27	164,50	247,21	309,95	310,44	192,87	281,95	342,06	299,12	283,89	293,22	253,21	228,13	287,19	329,60	298,88	307,59	466,51	516,25	429,30

Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: 1. A porcentagem é a participação da substância no total do ano.

2. Na primeira coluna, estão as substâncias de referência dos produtos refinados e manufaturados.

Outra substância que merece destaque é o cobalto, também por sua criticidade na composição das baterias automotivas, além das denúncias de exploração predatória com elevados custos sociais no principal produtor mundial, a RDC (Amnesty International, 2016; Gulley, 2022). Na tabela 2 (na subseção anterior), é possível notar que a comercialização de minérios de cobalto e seus concentrados teve elevação muito intensa até o biênio 2010-2011; dali em diante, esse mercado minguou, até sua comercialização global, no biênio 2022-2023, ficar próxima ao nível verificado no início do século. Em contraposição (tabela 4), a comercialização de cobalto metálico e seus compostos químicos (pós, mates de cobalto, cobalto bruto, óxidos e hidróxidos), que apresentou tendência de crescimento modesta até 2015, quase triplicou de patamar a partir de então. A partir de 2006, a RDC modificou sua estratégia de inserção global, proibindo exportações de cobalto bruto e ampliando sua capacidade de processamento e refino de cobalto, passando a exportar basicamente cobalto processado (Gulley, 2022). Em 2002, para cada US\$ 1 exportado de minério de cobalto e seus concentrados, o país africano exportava US\$ 0,4 de cobalto processado; em 2023, para cada US\$ 1 exportado de minério de cobalto e seus concentrados, exportou US\$ 38 de refinados de cobalto.

A Indonésia vem impondo dinâmica semelhante no mercado de níquel. Até 2006, disputava com Austrália e Filipinas a liderança nas exportações globais de minérios de níquel e seus concentrados, quando passou a dominar isoladamente o primeiro lugar, até alcançar a cifra de US\$ 3,32 bilhões exportados em 2013. Dali em diante, suas exportações de minério de níquel e seus concentrados caíram para mínimas históricas, ao passo que suas exportações de níquel processado (ferroníquel, mates de níquel e sínteres de óxido de níquel) iniciaram trajetória de crescimento e a colocaram, já em 2020, como o maior exportador mundial de níquel no segundo elo da cadeia produtiva – especialmente a liga de ferroníquel. Uma série de decisões legais do governo indonésio, desde 2009, incentivando a agregação de valor na cadeia produtiva do níquel, culminou, em 2020, com o banimento das exportações de minério de níquel e seus concentrados, levando a União Europeia a acionar a Indonésia na Organização Mundial do Comércio (OMC) em 2022 (Prohibition [...], 2024).

Na cesta de produtos do segundo elo da cadeia produtiva (químicos e metalúrgicos), no acumulado de todo o período analisado, a União Europeia foi a maior exportadora de alumínio, cobre, molibdênio, níquel (até perder essa posição, em 2020) e zinco; a China foi o maior exportador de grafita, manganês, silício e terras-raras; a África do Sul, a maior exportadora de cromo e platinoídes; o Chile, o maior exportador de lítio; e a RDC, a maior exportadora de cobalto. Em 2023, Mianmar se tornou o maior exportador global de terras-raras, mas toda a sua exportação foi direcionada à China.

TEXTO para DISCUSSÃO

O eixo importador é dominado por União Europeia, China, Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul desde o início do século, respondendo, ano após ano, por cerca de 72% a 75% de toda a importação no período analisado, tendo os processados de alumínio e o cobre como principais itens importados (tabela 5). Nenhuma outra economia figurou entre os cinco maiores importadores, havendo apenas uma mudança de posições no *ranking* entre as citadas. A China, novamente, merece destaque pela velocidade do seu crescimento; entre 2002 e 2023, as importações chinesas cresceram vinte vezes, e as importações dos demais cresceram entre três e seis vezes, apenas. Ela obteve a segunda colocação no *ranking* dos maiores importadores no acumulado do período, ainda que a velocidade do crescimento desse apetite importador tenha sido de um quarto do visto no primeiro elo, dos minérios e seus concentrados.

A União Europeia figura na primeira posição em ambos os eixos do segundo elo, com intenso comércio intrabloco, de modo que é o principal destino das exportações de cada uma das substâncias que o bloco exporta (com exceção de lítio e terras-raras), com 67% de toda a sua exportação, entre 2002 e 2023, para o próprio bloco, e outros 14% para a China.

TABELA 5

Maiores importadores e exportadores¹ de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos: cinco primeiros países no acumulado de 2002-2023
(Em US\$ 1 bilhão)

		2002	2013	2023
Importadores				
União Europeia	Valor	31,29	82,94	113,02
	Posição	1ª	1ª	2ª
	Minério	Alumínio	Cobre	Alumínio
China	Valor	5,55	63,18	116,42
	Posição	4ª	2ª	1ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Estados Unidos	Valor	13,32	26,22	40,61
	Posição	2ª	3ª	3ª
	Minério	Alumínio	Alumínio	Alumínio
Japão	Valor	8,47	20,41	36,27
	Posição	3ª	4ª	5ª
	Minério	Alumínio	Alumínio	Platinoides

(Continua)

(Continuação)

		2002	2013	2023
Coreia do Sul	Valor	4,25	13,92	25,94
	Posição	5ª	5ª	4ª
	Minério	Alumínio	Cobre	Lítio
Demais	Valor	21,73	79,13	107,39
	Minério	Alumínio	Cobre	Alumínio
Exportadores				
União Europeia	Valor	19,29	66,64	89,18
	Posição	1ª	1ª	1ª
	Minério	Alumínio	Cobre	Cobre
Chile	Valor	4,80	24,29	31,44
	Posição	6ª	2ª	2ª
	Minério	Cobre	Cobre	Cobre
Rússia	Valor	9,11	14,44	24,35
	Posição	2ª	6ª	5ª
	Minério	Alumínio	Alumínio	Alumínio
África do Sul	Valor	5,56	16,54	25,38
	Posição	5ª	4ª	4ª
	Minério	Platinoides	Platinoides	Platinoides
Austrália	Valor	6,53	18,35	18,94
	Posição	3ª	3ª	7ª
	Minério	Alumínio	Alumínio	Alumínio
Demais	Valor	39,32	143,63	240,01
	Minério	Alumínio	Cobre	Cobre

Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: 1. Principal elemento mineral contido na cesta de itens importados/exportados pelo país em cada ano.

2. Posição do país no *ranking* em cada ano.

No eixo exportador do segundo elo, a situação é diferente. Os cinco principais exportadores, no acumulado do período analisado, nem sempre figuraram nessa lista. A Austrália, por exemplo, caiu para a sétima posição em 2023, perdendo duas posições para a Indonésia – que alavancou suas exportações de níquel – e os Estados Unidos,

TEXTO para DISCUSSÃO

que alavancaram suas exportações de alumínio, platinoídes e cobre. O Chile, que em 2002 estava na sexta colocação entre os maiores exportadores, avançou para a segunda posição no *ranking*, ao se habilitar como o maior exportador global de cátodos de cobre e carbonato de lítio, além de ter sido o segundo maior exportador de óxidos/hidróxidos de lítio, atrás apenas da China. A África do Sul se destaca por ser o maior produtor mundial de elementos platinoídes, sobretudo a platina e o ródio – e terceiro maior de paládio, atrás da União Europeia e Rússia –, e por ser o maior produtor e exportador de cromo.

O eixo exportador apresenta maior dinamismo competitivo do que o importador, portanto. De 2002 a 2023, a participação dos cinco países da tabela 5 caiu de 54% do total exportado para 44%. A União Europeia, como já apontado, mantém liderança nas exportações do segundo elo, com produtos de cobre e alumínio representando 31% e 27% das exportações acumuladas no período, respectivamente. Produtos de platinoídes, que entre 2002 e 2018 representaram 12% das exportações do bloco, chegaram a representar 30% em 2020.

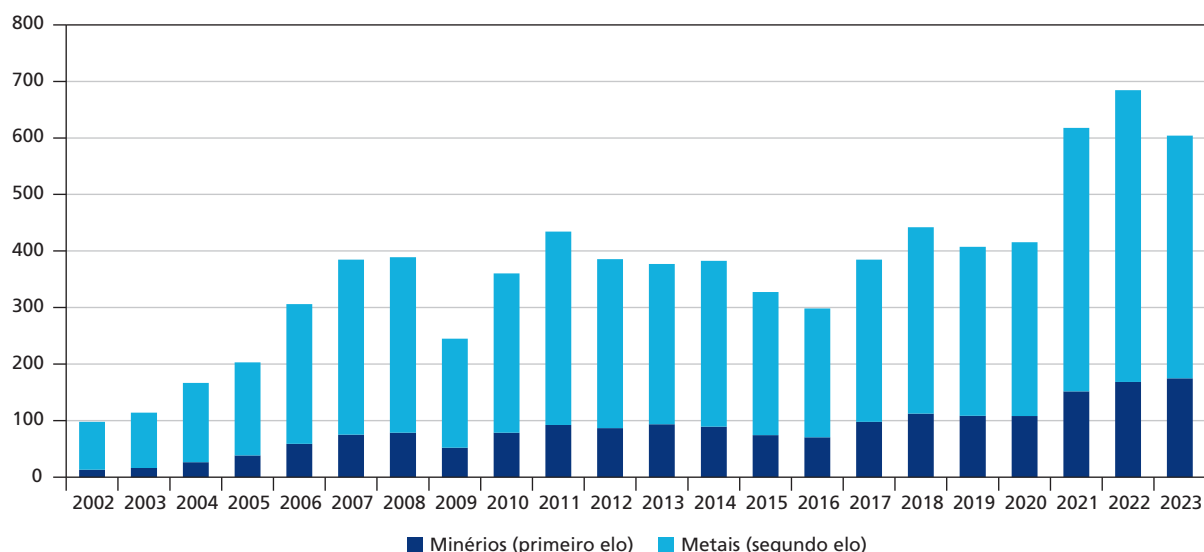
No segmento de processados de cobalto, a situação é semelhante. No acumulado de todo o período, a China absorveu 36% das exportações globais, alcançando participação máxima de 62% em 2021. No eixo exportador, indiretamente, a China também está por trás da explicação. Investimentos chineses em unidades fabris de transformação mineral na RDC aumentaram a capacidade do país africano de exportar não apenas refinados de cobalto, mas também de cobre – catodos de cobre, basicamente (Gulley, 2024). As exportações de refinados de cobre do país africano cresceram mais de dez vezes no período analisado, tendo a China como destinação de 64% dessas exportações em 2023.

5.3 A visão integrada dos mercados e o posicionamento do Brasil

Observados em conjunto, os dois mercados discutidos em detalhe nas subseções anteriores cresceram seis vezes entre 2002 e 2023, saindo do patamar de US\$ 97,7 bilhões para pouco mais de US\$ 604 bilhões, após ser atingido o pico de US\$ 680,8 bilhões em 2022, como pode ser visto no gráfico 5. O segmento extrativo mineral apresentou dinamismo bastante superior ao de matérias-primas metalúrgicas e químicas, crescendo à taxa anual média de 13,1%, contra 8%. Essa diferença nas taxas anuais médias de crescimento foi suficiente para aumentar o tamanho relativo do primeiro elo em relação ao segundo: em 2002, o segundo elo era 6,4 vezes maior que o primeiro; em 2023, ele foi 2,5 vezes maior.

GRÁFICO 5**Comércio internacional¹ de minerais críticos da transição energética e suas matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos (2002-2023)**

(Em US\$ 1 bilhão)



Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: Alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

É importante lembrar, nesse momento, que apenas uma fração do segundo elo é apresentada neste estudo, pois produtos da metalurgia e da indústria química que não sejam de uso geral ou explicitamente dedicados a cadeias produtivas de energia não foram considerados. Ainda assim, o segundo elo representou pelo menos o dobro da dimensão do primeiro, o que dá ideia do tamanho da agregação de valor das atividades de transformação mineral.

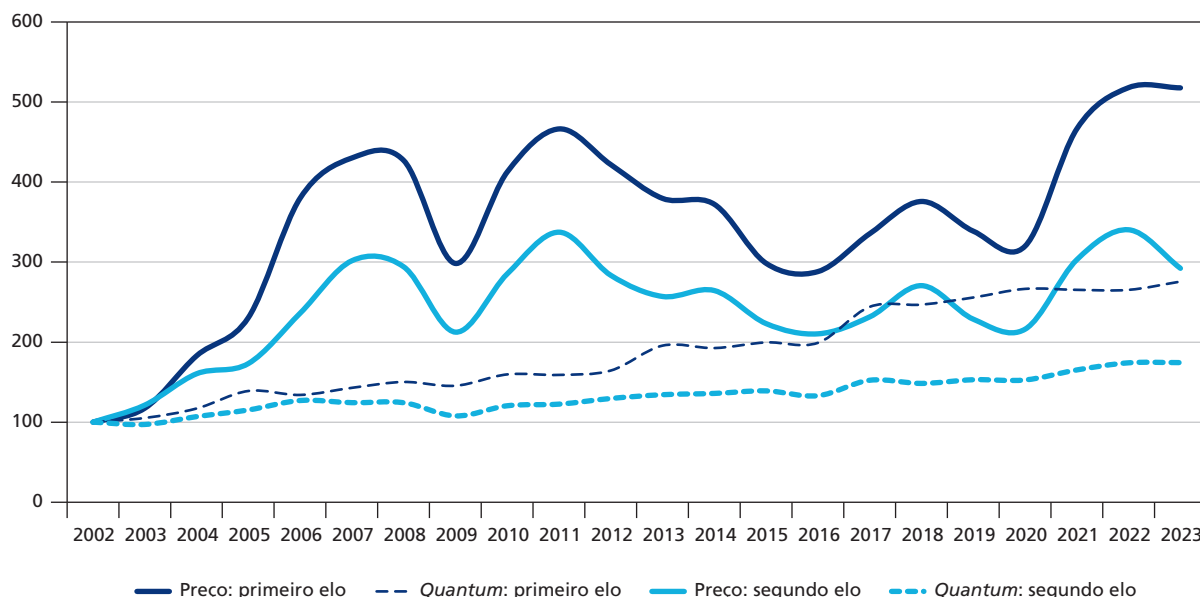
Em ambos os mercados, a oscilação de preços deu o tom da trajetória ascendente do valor comercializado em ambos os elos, já que o volume físico comercializado cresceu de maneira praticamente ininterrupta ao longo do tempo. A diferença entre os dois segmentos, portanto, está no patamar e na velocidade de crescimento. Como pode ser visto no gráfico 6, até a crise de 2008, os preços dos dois segmentos cresceram em velocidades sensivelmente distintas: o índice de preços dos minérios e seus concentrados cresceu 4,3 vezes, e o dos metais e compostos químicos cresceu 2,9 vezes. De 2009 em diante, o comportamento das duas curvas é rigorosamente idêntico, com longa queda e estagnação de quase dez anos – até 2020 –, após o surto de recuperação pós-crise que durou até 2011.

TEXTO para DISCUSSÃO

De 2020 a 2022, os preços crescem 62% e 57,5% no primeiro e no segundo elos, respectivamente, alcançando as máximas históricas do século XXI. Em 2023, o índice de preços do primeiro elo manteve-se estável, enquanto o índice de preços do segundo sofreu queda de 14%. O *quantum* teve comportamento bem mais estável do que os preços em ambos os segmentos, com o comércio de minérios e seus concentrados crescendo 2,7 vezes, enquanto o de matérias-primas metalúrgicas e químicas cresceu 1,7 vez em todo o período analisado, sem oscilações dignas de nota, conforme o gráfico 6.

GRÁFICO 6

Índices de preço e *quantum*¹ do comércio internacional do primeiro e segundo elos da cadeia produtiva (2002-2023)



Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: 1. Alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

2. Base: 2002 = 100.

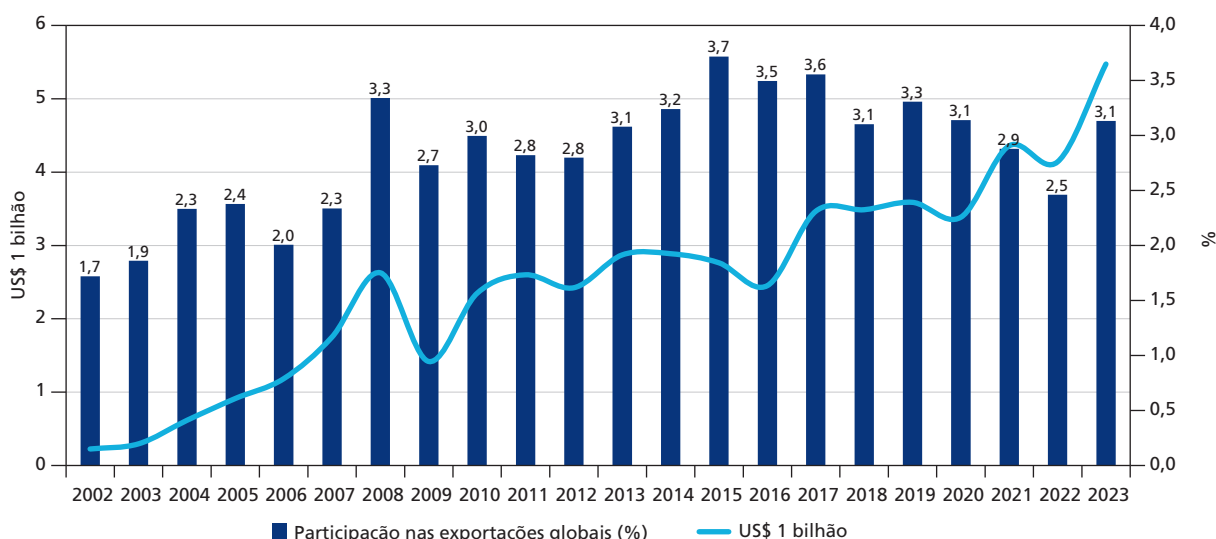
Ao longo desses vinte anos, a participação do Brasil foi bastante modesta, quando se observam os dois mercados de maneira agregada. Entre 2002 e 2016, com trajetória de leve oscilação, o país saiu de 1,81% para 2,55% de *market share* – seu ponto máximo na série histórica analisada. Dali em diante, o país teve perdas sucessivas de participação no comércio internacional, chegando a patamares mínimos em 2021 e 2022, com 1,71% e 1,77%, respectivamente. Em 2023, o país parece ter iniciado uma recuperação, aumentando sua participação para 1,98%.

A atuação do país nos dois segmentos foi bastante distinta. No segmento de minérios e seus concentrados, como pode ser visto no gráfico 7, o país obteve ganhos de *market share* entre 2002 e 2017, praticamente dobrando sua participação no mercado internacional – de 1,7% para 3,7%. Daquele momento em diante, o país perdeu espaço e retrocedeu ao patamar de 2,5% em 2022. Isso ocorreu apesar da contínua expansão do valor exportado, que cresceu mais de dezoito vezes no período, de meros US\$ 230 milhões para US\$ 4,1 bilhões. Em 2023, contudo, o Brasil cresceu 32% em relação a 2022. Ao contrário da tendência geral, a União Europeia, e não a China, é o destino prioritário das exportações brasileiras, absorvendo 48% no acumulado de 2002 a 2023; a China vem em segundo lugar, com 23%.

Até 2015, o país conseguiu manter a taxa anual média de crescimento de 21,2%, contra 14,3% do mundo; de 2015 em diante, o ritmo de crescimento brasileiro caiu para 5,9% a.a., e o ritmo mundial permaneceu em 12,4%. Em 2004, o Brasil iniciou intensa trajetória de produção e exportação de minérios de cobre e seus concentrados, de modo que o cobre representou 65,3% das exportações brasileiras no período analisado, com os minérios de manganês e de alumínio disputando a segunda posição (13,7% e 13,4%, respectivamente). A partir de 2019, lítio e níquel começaram sua trajetória de expansão. Em 2023, lítio e níquel foram responsáveis por 9,8% e 5,4%, respectivamente, das exportações brasileiras.

GRÁFICO 7

Exportações brasileiras¹ de minerais críticos da transição energética (2002-2023)



Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

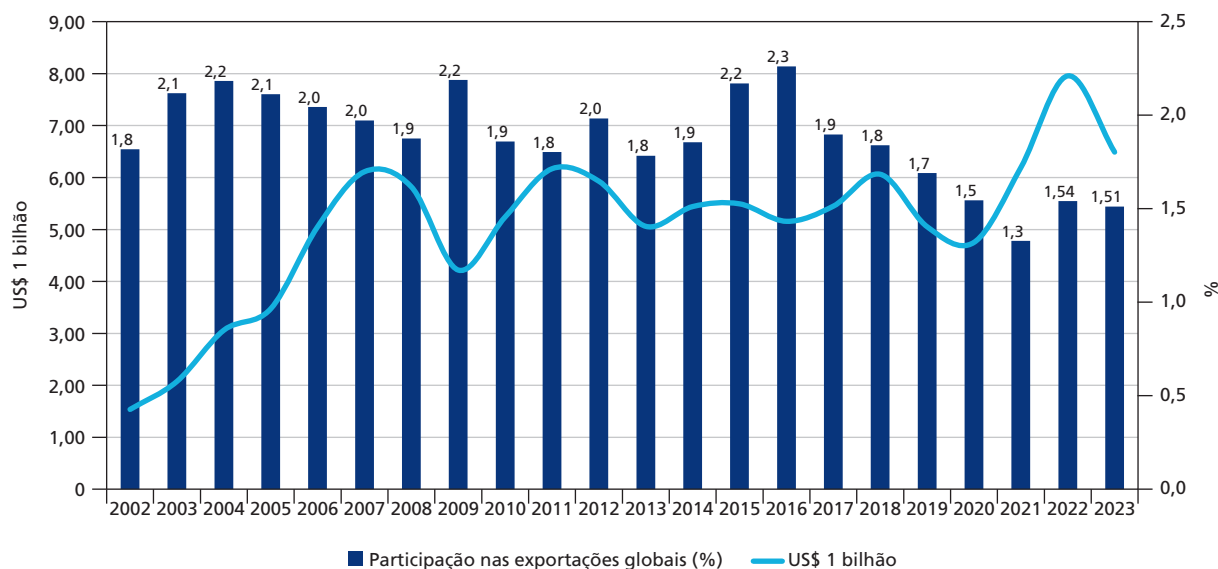
Obs.: Minérios de alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

TEXTO para DISCUSSÃO

No segundo elo, a atuação do país pode ser analisada em três momentos distintos, em termos de valores exportados. No primeiro período, entre os anos de 2002 e 2007, o Brasil seguiu a tendência mundial e quadruplicou o valor exportado, de US\$ 1,5 bilhão para US\$ 6,1 bilhões. Entre 2008 e 2020, as exportações brasileiras ficaram estagnadas, oscilando em torno da média de US\$ 5,3 bilhões anuais. Esse período, como já comentado, foi marcado, no plano internacional, por trajetória declinante das cotações internacionais e consequente depressão dos valores comercializados. Os anos de 2021 e 2022 demarcam o terceiro momento e representam súbita elevação das exportações brasileiras, num ritmo mais acentuado que a média global, alcançando máximas históricas de quase US\$ 8 bilhões em 2022. Em termos de *market share*, contudo, a trajetória de longo prazo é de declínio, ainda que tenha havido oscilações positivas num ano ou noutro, como pode ser visto no gráfico 8. Em 2023, as exportações brasileiras caíram, assim como as mundiais (gráficos 4 e 6), basicamente por conta da queda do índice de preços do segundo elo; a participação brasileira permaneceu basicamente a mesma (variou de 1,54% para 1,51%).

GRÁFICO 8

Exportações brasileiras¹ de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos (2002-2023)



Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: Alumínio, cobalto, cromo, cobre, grafita, lítio, manganês, molibdênio, níquel, platinoídes, silício, terras-raras e zinco.

Ao contrário do que ocorre no segmento mineral, os processados de cobre têm pouca importância na pauta exportadora brasileira. No acumulado dos 21 anos analisados, os processados de alumínio representaram 61% das exportações (US\$ 68,2 bilhões), sendo o óxido de alumínio (alumina) o principal produto (US\$ 42,2 bilhões), seguido por alumínio bruto não ligado (US\$ 18,3 bilhões). Em segundo e terceiro lugares, os processados de silício (US\$ 13,6 bilhões) e de níquel (US\$ 12,5 bilhões) aparecem com 12% e 11%, com os produtos “silício metálico com pelo menos 99,99% de pureza” (US\$ 8,8 bilhões) e a liga ferroníquel (US\$ 7,3 bilhões) em destaque (tabela 6). Assim como no primeiro elo, as exportações brasileiras de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos não são direcionadas prioritariamente à China, que absorveu apenas 7% das nossas exportações entre 2002 e 2023. União Europeia, Canadá, Estados Unidos, Japão e Noruega, nessa ordem, foram os principais destinos das exportações brasileiras, respondendo por 77% do acumulado entre 2002 e 2023.

Com exceção do alumínio bruto não ligado, que está em trajetória de declínio desde 2008, os outros três produtos estão em trajetória de crescimento desde o início da série analisada. O *market share* do país no mercado de alumina saiu de 3,5%, em 2002, para 21,7% em 2023, situando o país como o segundo maior exportador em todo o período, atrás apenas da Austrália. Em 2004, o país chegou a garantir 6,3% do mercado internacional de alumínio não ligado em forma bruta, antes de iniciar trajetória declinante, até atingir apenas 1,4% em 2023, devido à queda do valor exportado, que já havia chegado a US\$ 1,71 bilhão em 2007 e, em 2023, alcançou meros US\$ 0,47 bilhão.

No segmento da liga de ferroníquel, o valor exportado do Brasil está em ascensão desde 2012, e o país chegou a deter 13,6% do mercado em 2016, mas o mercado se expandiu exponencialmente a partir de 2016, com atuação agressiva da Indonésia (suas exportações cresceram catorze vezes entre 2016 e 2022), e o *market share* brasileiro caiu para 4,3% em 2023; ainda assim, o país foi o terceiro maior exportador nesse ano.

No segmento de “silício metálico com pelo menos 99,99% de pureza”, o Brasil chegou a 18,5% do mercado em 2005 e, após longo período de oscilações, recuperou o patamar de 17,4% em 2023.

TEXTO para DISCUSSÃO

TABELA 6

Dez principais itens exportados pelo Brasil no acumulado: segundo elo da cadeia produtiva (2002-2023)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Óxidos de alumínio, exceto coríndon artificial	US\$ 1 bilhão	0,18	0,30	0,42	0,59	1,02	1,19	1,58	1,27	1,77	2,10	2,39	2,03	2,43	2,75	2,24	2,76	3,18	2,58	2,37	3,01	3,31	2,79
	%	3,5	5,1	5,5	5,9	8,6	9,1	10,9	15,0	17,3	19,3	19,6	16,5	18,2	21,5	20,5	20,1	18,3	16,2	19,7	20,0	22,0	21,7
Alumínio não ligado em forma bruta	US\$ 1 bilhão	0,59	0,81	1,19	1,21	1,68	1,71	1,33	1,03	1,08	1,32	1,00	0,85	0,68	0,63	0,67	0,45	0,31	0,21	0,29	0,38	0,40	0,47
	%	4,5	5,3	6,3	5,8	6,0	5,7	4,9	5,2	4,3	4,6	4,2	3,8	2,6	2,8	3,0	1,6	1,0	0,9	1,2	1,0	1,0	1,4
Silício metálico com menos de 99,99% de pureza	US\$ 1 bilhão	0,12	0,17	0,21	0,27	0,26	0,32	0,47	0,32	0,40	0,60	0,55	0,36	0,39	0,28	0,35	0,34	0,48	0,45	0,38	0,40	1,00	0,66
	%	14,2	16,2	15,0	18,5	15,9	14,6	12,3	14,5	11,3	13,5	15,3	11,1	10,2	8,3	11,6	10,5	12,2	14,4	14,2	8,8	16,3	17,4
Ferro-níquel	US\$ 1 bilhão	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,06	0,04	0,06	0,01	0,10	0,45	0,25	0,56	0,47	0,47	0,53	0,57	0,55	0,54	0,80	0,96	0,81
	%	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	1,9	0,2	1,9	9,1	6,7	11,7	12,3	13,6	11,1	11,0	8,4	6,2	6,4	5,0	4,3
Cátodos de cobre refinado e seus elementos, em formas brutas	US\$ 1 bilhão	0,07	0,04	0,08	0,12	0,34	0,62	0,60	0,51	0,40	0,47	0,15	0,36	0,49	0,52	0,52	0,36	0,39	0,30	0,16	0,18	0,08	0,00
	%	0,7	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,2	1,3	0,7	0,7	0,2	0,6	0,8	1,0	1,1	0,7	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0
Ligas de alumínio, em formas brutas	US\$ 1 bilhão	0,20	0,28	0,50	0,53	0,73	0,83	0,63	0,28	0,28	0,14	0,07	0,06	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03	0,02	0,08	0,23	0,06	
	%	1,8	2,2	3,1	3,0	2,8	2,9	2,2	1,9	1,2	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,2
Ferro-silício, contendo, em peso, mais 55% de silício	US\$ 1 bilhão	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,16	0,22	0,27	0,31	0,27	0,20	0,16	0,12	0,15	0,14	0,21	0,22	0,24	0,26	0,47	0,41
	%	5,3	5,1	4,6	5,6	5,9	4,9	4,0	10,1	7,5	7,2	7,8	6,3	4,5	3,9	6,4	4,7	5,3	7,5	9,8	5,6	7,5	10,8
Níquel não ligado, em formas brutas	US\$ 1 bilhão	0,09	0,11	0,18	0,20	0,25	0,52	0,25	0,16	0,24	0,26	0,24	0,20	0,25	0,16	0,09	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
	%	1,9	1,6	1,9	1,9	1,5	2,1	1,6	1,7	1,7	1,5	1,9	1,6	1,7	1,3	1,0	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Zinco não ligado, em formas brutas, contendo, em peso, 99,99% ou mais de zinco	US\$ 1 bilhão	0,03	0,03	0,05	0,08	0,14	0,17	0,07	0,05	0,09	0,14	0,11	0,04	0,03	0,09	0,13	0,18	0,15	0,14	0,15	0,08	0,14	0,24
	%	1,3	1,4	1,8	2,1	1,8	1,8	1,3	1,1	1,5	2,1	1,8	0,6	0,5	1,4	2,0	1,9	1,4	1,6	1,9	0,9	1,4	2,6
Hidróxido de alumínio	US\$ 1 bilhão	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,08	0,12	0,11	0,14	0,21	0,25	0,20	0,13	0,14	0,27	0,24
	%	2,4	3,3	3,2	1,8	2,5	1,2	1,3	0,8	3,3	3,2	4,2	5,7	8,3	8,7	10,3	14,1	13,9	12,0	9,2	8,7	14,1	13,0

Fonte: WITS/Banco Mundial. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/WITS/WITS/Restricted/Login.aspx>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Estatísticas elaboradas pelo registro das importações.

Obs.: A porcentagem é a participação do item no total exportado de matérias-primas metalúrgicas e químicas em cada ano.

Dessa lista de produtos, chama a atenção o desempenho exportador brasileiro em alumínio não ligado em forma bruta, ligas de alumínio em forma bruta e níquel não ligado em forma bruta, pois o Brasil conseguiu manter crescimento do valor exportado até a crise de 2008, inclusive com aumento do *market share* em seus respectivos mercados. Dali em diante, o valor exportado caiu consistentemente e, obviamente, a participação de mercado despencou. Houvesse o país ao menos mantido estabilidade nas exportações desses três produtos, de 2008 em diante, seu desempenho, no agregado do segundo elo, teria sido melhor, pois tais produtos se somariam ao volume crescente de alumina, hidróxido de alumínio, zinco não ligado, silício metálico e das ligas de ferroníquel e ferrossilício.

6 TENDÊNCIAS, INVESTIMENTOS E PROJEÇÕES PARA O FUTURO

Tudo indica que continuará, nas próximas décadas, a trajetória de crescimento do mercado global mostrada nas duas seções anteriores. Projeções da IEA (IEA, 2025a) apontam que a demanda por algumas substâncias, como o lítio, pode crescer entre quatro e nove vezes até 2035 (do patamar de 128 mil toneladas de 2024 para algo entre 589 mil e 1,1 milhão de toneladas)³⁰ a depender dos cenários de projeção mencionados previamente (IEA, 2024b).

O crescimento da demanda por essas substâncias decorre do amplo ciclo de eletrificação da economia global esperado para os próximos anos, mas usos alternativos não associados à transição energética representarão, ainda assim, parcela não desprezível do mercado consumidor. Em 2024, apenas 29% do cobre, o principal mineral da transição energética (em valor de mercado, em tonelagem e em ubiquidade de aplicações) foi utilizado em aplicações diretas de projetos de energia e tecnologias de energia renovável. Para 2035, a projeção (Steps) é que essa fatia chegue a 35% e mantenha-se nessa proporção até 2050. Esse também é o caso das terras-raras, cuja demanda oriunda das aplicações da transição energética (carros eletrificados e energia eólica, basicamente), representaram 21% do total, em 2024, e chegarão a 32% em 2050 – Steps (IEA, 2025a).

Para outras substâncias, como cobalto, lítio, níquel e grafita, a transição energética deverá ser o principal vetor de impulso da demanda, representando parcela crescente no plano global (45%, em 2035, contra 32%, em 2024, no caso do cobalto; 85%, em 2035, contra 62%, em 2024, no caso do lítio; 38%, em 2035, contra 17%, em 2024, no caso do níquel; e 54%, em 2035, contra 32%, em 2024, no caso da grafita).³¹

30. Lítio (Li) e não óxido de lítio (Li_2O), como apresentado na tabela 1 a partir dos dados do WMD; o lítio representa 44% da massa do óxido de lítio.

31. Para as demais substâncias (cromo, manganês, molibdênio, platinoídes, silício e zinco), a IEA não possui projeções de demanda para outros usos. Apesar de considerar o alumínio como substância crítica da transição energética, a agência não expõe estimativas e projeções da demanda por alumínio, como fez para as demais substâncias.

TEXTO para DISCUSSÃO

Para o conjunto das substâncias aqui analisadas, a tabela 7 apresenta as projeções de demanda, em toneladas métricas, no cenário Steps (IEA, 2024b),³² discriminando o peso de cada uma das tecnologias da transição energética para o volume demandado por cada substância mineral – excluindo-se usos alternativos não associados à transição energética, já comentados antes.

Na variação da quantidade requerida anualmente entre 2024 e 2050, o carro eletrificado representará, isoladamente, o maior empuxo de demanda por praticamente todos os minérios analisados, com exceção apenas do cromo, do molibdênio, dos platinoides e do zinco (que praticamente não tem utilização na fabricação dos carros eletrificados); mais de 80% do crescimento da demanda anual de níquel, silício, manganês, lítio, cobalto e terras-raras virá da produção de carros eletrificados, 67% no caso da grafita e quase 57% no do cobre.

Em 2024, 15,6% da demanda (em toneladas métricas) de todos os minerais críticos mapeados decorreu da fabricação de carros eletrificados (cerca de 1,9 milhão de toneladas); em 2030, essa proporção deve alcançar 30% (cerca de 6,1 milhões de toneladas), e, de 2035 até 2050, se estabilizará entre 40% e 45% (entre 11 e 12 milhões de toneladas anuais, em média).³³ A projeção de vendas mundiais anuais recente (IEA, 2025b) de carros de passeio eletrificados, para o ano de 2030, apresentada pela IEA (cenário Steps), é de 40 milhões de unidades (sendo 28 milhões de BEV e 12 milhões de PHEV), mais do que o dobro das unidades vendidas em 2024 (11 milhões de BEV e 6,5 milhões de PHEV),³⁴ como pode ser visto no gráfico 9. A projeção realizada no ano anterior (IEA, 2024c) também apontava em torno de 40 milhões de unidades vendidas em 2030, mas a quantidade de veículos BEV seria de 33 milhões, e de PHEV, de 7,7 milhões. Essa mudança na composição das projeções do mercado de veículos eletrificados, de um ano para o outro, evidencia quão aberta está a disputa pelo padrão tecnológico no mercado automotivo.

As projeções da IEA (gráfico 9) sugerem, contudo, predominância de vendas de carros eletrificados movidos a bateria, pressuposto que, em parte, explica as elevadas projeções de consumo de minerais no futuro, pois o BEV é substancialmente mais intensivo em consumo mineral do que o PHEV. Enquanto a fabricação de veículos eletrificados provocará expansão na ordem de seis vezes da quantidade de minerais

32. O leitor pode explorar as projeções para os demais cenários em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>.

33. A comparação direta de massa ou volume entre substâncias distintas não é apropriada, mas foi apresentada assim apenas para dar uma noção da magnitude do volume físico requerido na fabricação dos equipamentos associados à transição energética.

34. O leitor pode explorar as projeções feitas pela IEA em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>.

demandados anualmente, a expansão da rede elétrica e a construção de usinas solares e eólicas crescerá entre 14% e 54%. A construção de baterias estacionárias de suporte aos sistemas elétricos exigirá dez vezes mais minerais em 2050 (2,9 milhões de toneladas) do que demandou em 2024 (284 mil toneladas), saindo de 2,3% para 10,1% da tonelagem total requerida (basicamente de grafita, cobre, vanádio e manganês).

TABELA 7

Demanda global de minerais críticos da transição energética, por tipo de tecnologia

Minerais e tecnologias	Efetivo		Projeção de demanda				Expansão 2024-2050	Participação na expansão
	2024	2030	2035	2040	2045	2050		
	1 mil t							%
Cobre	7.737,02	10.909,95	11.539,62	12.162,36	12.461,74	13.041,84	5.304,81	-
Rede elétrica	4.928,99	5.824,52	5.686,40	5.744,77	5.755,84	5.641,23	712,24	13,4
Carros elétricos	496,69	1.597,10	2.465,46	2.995,49	3.243,48	3.504,98	3.008,29	56,7
Painéis solares	1.657,20	2.373,69	2.242,63	2.230,22	2.177,88	2.377,17	719,97	13,6
Eólica	534,24	809,78	769,77	622,77	663,88	816,86	282,63	5,3
Baterias (sistema elétrico)	76,26	215,27	294,86	448,96	506,56	632,44	556,18	10,5
Outras tecnologias	43,65	89,58	80,48	120,14	114,09	69,14	25,49	0,5
Hidrogênio	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0
Grafita	1.002,51	2.962,66	3.942,87	3.963,32	3.260,03	2.901,16	1.898,65	-
Carros elétricos	838,95	2.590,96	3.478,11	3.325,78	2.592,57	2.115,07	1.276,12	67,2
Baterias (sistema elétrico)	163,56	371,70	464,76	637,54	667,46	786,09	622,53	32,8
Níquel	561,72	1.349,25	1.953,11	2.381,06	2.591,25	2.790,18	2.228,46	-
Carros elétricos	321,14	959,08	1.558,79	1.843,30	2.057,08	2.145,51	1.824,37	81,9
Outras tecnologias	174,14	248,69	218,03	292,59	226,54	190,95	16,81	0,8
Baterias (sistema elétrico)	16,97	68,04	110,79	188,62	245,93	376,83	359,87	16,1
Eólica	47,45	67,84	59,48	51,63	56,96	70,64	23,19	1,0
Hidrogênio	1,40	4,71	5,19	4,09	3,93	5,37	3,97	0,2
Painéis solares	0,62	0,88	0,83	0,83	0,81	0,88	0,26	0,0
Silício	1.499,85	1.761,75	1.771,72	1.843,27	1.926,03	2.134,02	634,17	-
Painéis solares	1.480,78	1.652,11	1.488,45	1.426,41	1.325,53	1.368,34	-112,44	-17,7
Carros elétricos	18,55	105,68	276,71	404,74	584,22	745,19	726,63	114,6
Baterias (sistema elétrico)	0,52	3,96	6,56	12,12	16,29	20,50	19,98	3,2
Outras tecnologias	0,01	0,01	0,01	-	0,00	-	-0,01	0,0
Manganês	186,04	601,77	1.226,67	2.127,43	2.789,85	3.448,24	3.262,20	-
Carros elétricos	60,34	356,47	928,42	1.715,61	2.287,12	2.734,36	2.674,02	82,0
Baterias (sistema elétrico)	4,25	68,85	133,05	260,06	339,07	519,55	515,30	15,8
Eólica	104,80	152,12	136,47	116,98	129,41	161,92	57,12	1,8
Outras tecnologias	16,64	24,32	28,73	34,78	34,26	32,40	15,76	0,5
Zinco	764,01	1.106,31	990,51	855,88	947,41	1.177,26	413,25	-
Eólica	734,75	1.065,92	955,13	818,70	905,74	1.133,21	398,46	96,4
Painéis solares	15,03	21,27	20,24	20,25	19,74	21,70	6,67	1,6
Outras tecnologias	14,23	19,12	15,14	16,93	21,93	22,35	8,12	2,0

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

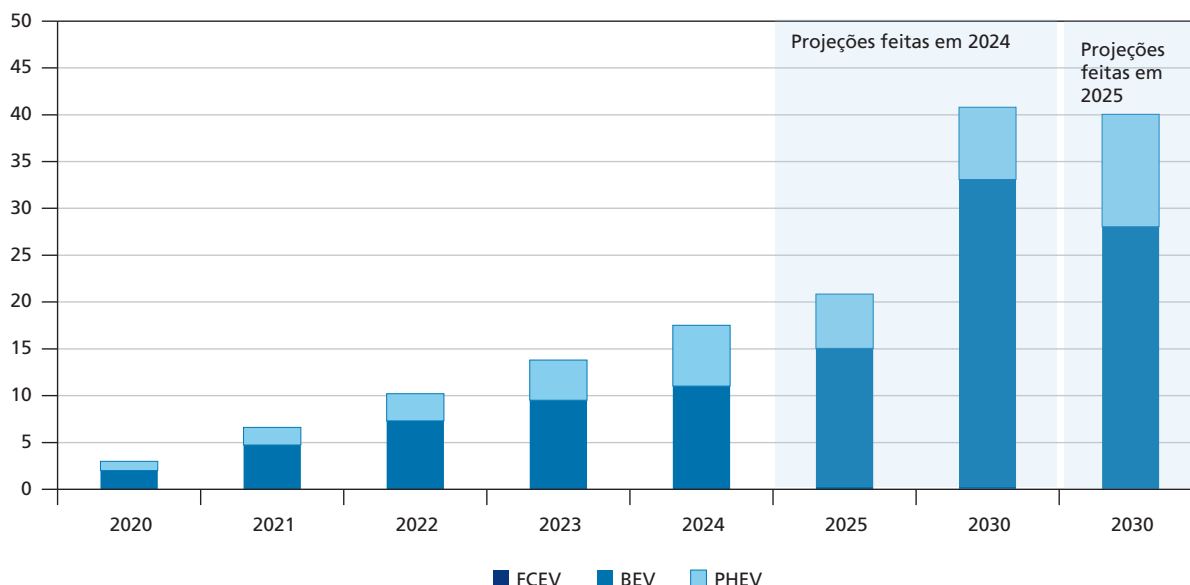
(Continuação)

Minerais e tecnologias	Efetivo		Projeção de demanda				Expansão 2024-2050	Participação na expansão
	2024	2030	2035	2040	2045	2050		
	1 mil t							%
Lítio	128,00	368,72	588,98	808,71	936,18	1.019,29	891,28	-
Carros elétricos	109,03	326,09	537,60	738,67	860,04	930,29	821,27	92,1
Baterias (sistema elétrico)	18,98	42,63	51,38	70,04	76,14	88,99	70,02	7,9
Cromo	241,32	349,70	299,16	333,51	318,17	311,01	69,70	-
Outras tecnologias	175,22	253,36	211,94	258,76	235,52	207,51	32,29	46,3
Eólica	66,10	96,34	87,22	74,76	82,65	103,51	37,41	53,7
Cobalto	70,59	148,24	146,44	135,83	160,13	172,36	101,78	-
Carros elétricos	66,51	143,15	142,72	135,81	160,11	172,34	105,83	104,0
Baterias (sistema elétrico)	4,06	5,06	3,70	-	-	-	-4,06	-4,0
Outras tecnologias	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,0
Hidrogênio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Terras-raras	18,87	37,87	46,16	46,59	50,40	56,62	37,76	-
Carros elétricos	8,36	21,66	29,99	33,87	36,72	39,46	31,10	82,4
Eólica	10,50	16,18	16,15	12,71	13,67	17,15	6,65	17,6
Outras tecnologias	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,00	0,0
Hidrogênio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-0,00	0,0
Molibdênio	33,83	47,50	40,27	43,45	43,44	45,44	11,61	-
Outras tecnologias	19,64	26,80	21,52	27,29	25,70	23,36	3,72	32,0
Eólica	13,83	20,14	18,21	15,61	17,26	21,61	7,78	67,0
Painéis solares	0,37	0,56	0,54	0,55	0,48	0,48	0,11	1,0
Platinoides	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	-
Hidrogênio	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	100,0
Demais	39,19	80,92	230,24	449,74	502,05	615,81	576,62	-
Baterias (sistema elétrico)	-	26,89	181,16	381,70	432,75	544,70	544,70	94,5
Outras tecnologias	21,73	31,32	26,15	30,37	34,34	34,45	12,73	2,2
Painéis solares	17,04	21,69	21,83	36,80	34,07	35,47	18,42	3,2
Hidrogênio	0,19	0,64	0,71	0,56	0,54	0,73	0,54	0,1
Eólica	0,23	0,37	0,39	0,31	0,35	0,46	0,23	0,0
Total geral	10.111,49	19.107,54	22.454,21	24.112,60	24.507,19	25.225,03	15.113,54	-

Fonte: Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/critical-minerals-dataset>.
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 9**Vendas e projeções de vendas de carros eletrificados (BEV, PHEV, FCEV) no mundo: dados históricos até 2024**

(Em 1 milhão)



Fonte: IEA (2024c, 2025b).

Elaboração dos autores.

O futuro da eletrificação da frota mundial é decisivo para a ordem de compra que recairá sobre o setor mineral e as decorrentes decisões de investimento, portanto. A pressão sobre a cadeia de suprimentos minerais será enorme, especialmente nos próximos anos, observando-se os dados da IEA. A tabela 8 apresenta a taxa de crescimento média anual da produção mineral mundial entre 2017 e 2023 (dado extraído da tabela 1 da seção 2) e as taxas anuais médias projetadas até 2050; o cenário que se apresenta é desafiador, especialmente para o período 2024-2030. Importante estudo aponta que a transição energética, no segmento de transportes, aumentará os requerimentos totais de material e energia (em toneladas) em qualquer cenário, ainda que o consumo de gasolina decresça substancialmente, pela relação inversamente proporcional entre a intensidade de minerais e o consumo de combustível nos carros eletrificados (Watari *et al.*, 2019).

Até o fim da década, algumas substâncias que já estão com taxas de crescimento bastante elevadas (como a grafita e o lítio, com 10,8% a.a. e 20,6% a.a., respectivamente, entre 2017 e 2023) precisariam subir ainda mais (grafita) ou manter o ritmo já muito elevado (lítio), e as demais, que apresentaram crescimento médio anual modesto, precisariam aumentar de duas até dezesseis vezes sua velocidade para atendimento da demanda; de 2030 até 2050, em geral, as projeções apresentam desaceleração do

TEXTO para DISCUSSÃO

crescimento, ainda que uma ou outra substância permaneça em alta velocidade de crescimento (manganês e platinoídes, essencialmente). Toda essa pressão, vale lembrar, está baseada no cenário Steps, o mais conservador de todos.

TABELA 8

Taxa anual média de crescimento da demanda e da produção mineral: produção efetiva entre 2017 e 2023 e projeções de demanda de 2024 a 2050 (2017-2050)
(Em %)

Mineral	Produção		Projeção de demanda				
	2017 - 2023		2024-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050
Cobalto	6,1	↗	13,2	-0,2	-1,5	3,3	1,5
Cobre	1,9	↗	5,9	1,1	1,1	0,5	0,9
Cromo	0,5	↗	6,4	-3,1	2,2	-0,9	-0,5
Grafita	10,8	↗	19,8	5,9	0,1	-3,8	-2,3
Lítio	20,6	↘	19,3	9,8	6,5	3,0	1,7
Manganês	1,3	↗	21,6	15,3	11,6	5,6	4,3
Molibdênio	0,4	↗	5,8	-3,2	1,5	0,0	0,9
Níquel	9,5	↗	15,7	7,7	4,0	1,7	1,5
Platinoídes	-0,3	↗	30,7	14,6	6,1	0,4	-1,2
Silício	n.d.		2,7	0,1	0,8	0,9	2,1
Terras-raras	19,4	↘	12,3	4,0	0,2	1,6	2,4
Zinco	0,9	↗	6,4	-2,2	-2,9	2,1	4,4

Fonte: WMD e IEA. Disponível em: https://www.world-mining-data.info/?World_Mining_Data; e <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/critical-minerals-dataset>.

Elaboração dos autores.

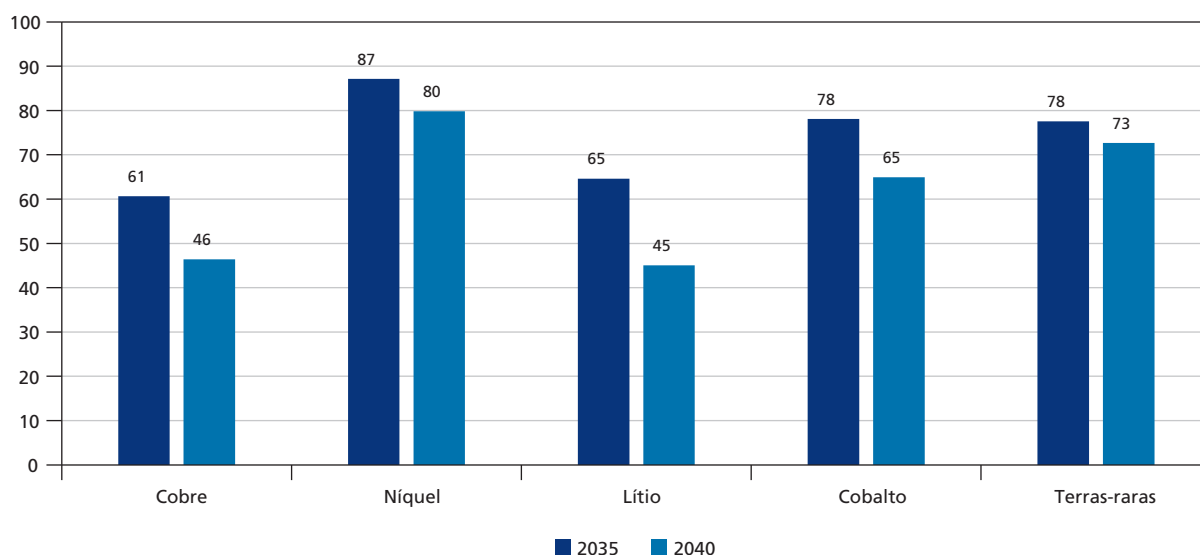
Obs.: n.d. – dados não disponíveis.

As altas taxas de expansão da demanda projetadas para o futuro estão em pleno descompasso com as projeções de oferta mineral primária baseada na capacidade de produção das minas em funcionamento, das que entrarão nos próximos anos e dos projetos anunciados – gráfico 10 (IEA, 2025a). Como pode ser visto no gráfico 10, esse descompasso tende a se acentuar ao longo do tempo. O cobre é o caso mais grave, pela aplicabilidade generalizada na economia global, para além dos sistemas energéticos. A não ser que sejam descobertas novas jazidas de classe mundial e/ou com teores maiores que os dos projetos já contratados e em operação, menos da metade da demanda seria atendida pela atividade mineradora em 2040. Na próxima década, será imperativo, portanto, que o mercado de reciclagem e reúso (oferta secundária) se expanda para compensar a incapacidade do setor minerador em atender à demanda

global, exigindo investimentos industriais, desenvolvimento tecnológico para aumento da recuperabilidade das substâncias, e políticas públicas e ações regulatórias por parte dos governos (Irena, 2023; Hool, Helbig e Wierink, 2024; IEA, 2024a).

GRÁFICO 10

Participação da oferta primária de minerais em relação à demanda total: demanda projetada no cenário Steps e oferta projetada baseada nos projetos em operação e anunciados (2035 e 2040)
(Em %)



Fonte: IEA (2025a).

Elaboração dos autores.

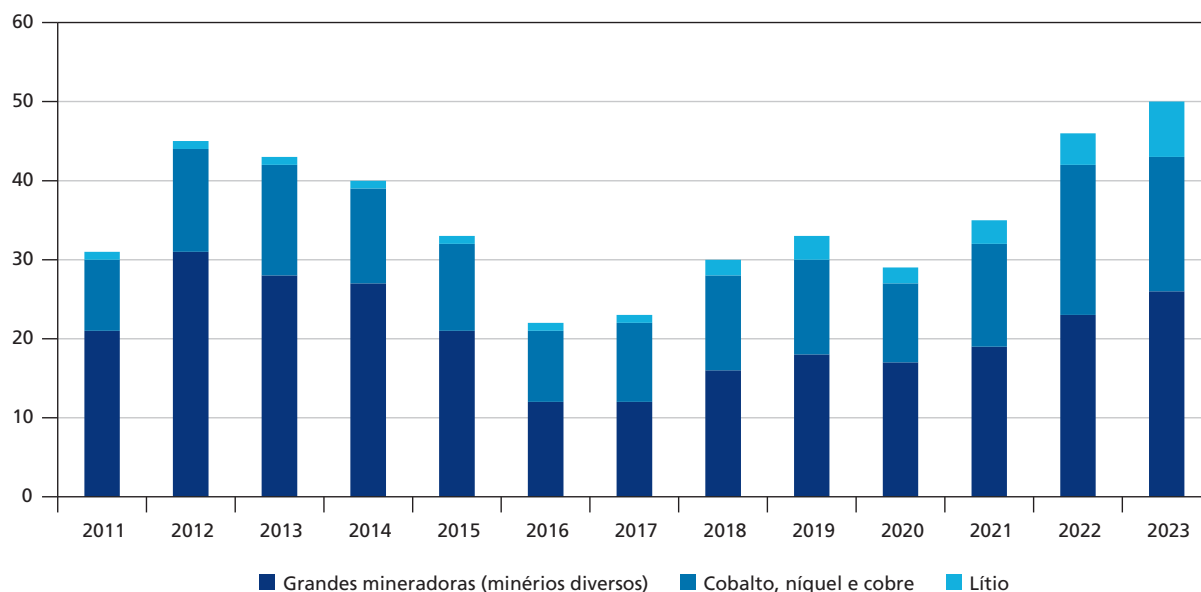
O desafio de expansão da oferta dessas substâncias tem, como agravante, a possível insuficiência dos investimentos realizados em operações mineradoras, nos últimos anos, e dos já contratados para o futuro próximo (Kettle, 2022; WEF, 2024; Holman, 2024; IEA, 2025a; Mine [...], 2025). Para o conjunto das substâncias aqui analisadas, o setor mineral passou por longo período de investimentos em queda em nível global, na década anterior à pandemia da covid-19. A depressão de preços internacionais, que imperou de 2011 até 2019 (gráfico 3), está correlacionada com a queda dos investimentos globais nesse segmento para o patamar de estagnação entre US\$ 20 e 40 bilhões (gráfico 11) (Fernandez, 2019; Jacks e Stuermer, 2020; Valacchi *et al.*, 2023). Os anos de 2021-2023, contudo, apontam reversão desse ciclo, com investimentos na casa dos US\$ 50 bilhões em 2023.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 11

Investimentos globais na produção de minerais críticos da transição energética: 25 maiores mineradoras mundiais (2011-2023)

(Em US\$ 1 bilhão)



Fonte: Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-expenditure-on-nonferrous-metal-production-by-25-major-mining-companies-2011-2023>.

Elaboração dos autores.

O que os dados de produção, investimento e preços do passado recente sugerem, em comparação com as projeções de oferta e demanda para as próximas décadas, assim, é que o fôlego de produção proporcionado pelo ciclo anterior de investimentos (encerrado em 2015) deu sinal de esgotamento em 2020, com a elevação das cotações internacionais. A ascensão dos preços coincide com novo ciclo de investimentos, saltando estes de menos de US\$ 30 bilhões, em 2020, para US\$ 50 bilhões, em 2023 (IEA, 2024d), em valores nominais. Entretanto, diante das necessidades apontadas na tabela 8 e no gráfico 9, é possível que esse aumento esteja aquém do necessário. Consultorias especializadas afirmam que esse patamar de investimentos será insuficiente para expandir a oferta futura aos níveis necessários (Holman, 2024; Mine [...], 2025). Há fatores estruturais e conjunturais que podem explicar essa insuficiência. Estruturalmente, vale pontuar que as técnicas de prospecção e o conhecimento geológico são mais estabelecidos para minerais conhecidos como *bulk minerals* do

que para *critical minerals*,³⁵ pois, historicamente, 90% dos recursos para exploração mineral sempre foram mais voltados ao primeiro grupo. Ainda que alumínio, cobre, níquel e zinco estejam, usualmente, na categoria de *bulk minerals*, todos os demais são *critical minerals*.

Assim, estruturalmente, a prospecção de parte dos minerais analisados neste trabalho é influenciada por duas questões: i) geológicas, quando o mineral é subproduto da exploração de algum *bulk mineral*, tornando o conhecimento geológico associado ao mineral crítico dependente do conhecimento geológico dos *bulk minerals*; e ii) econômicas, pois a viabilidade da prospecção e da produção de minerais críticos é bastante afetada pelas decisões acerca dos *bulk minerals* (Northey, Mudd e Werner, 2018; Collins *et al.*, 2024). Além disso, minerais críticos costumam sofrer mais com oscilações de preços, concentração geográfica e baixas taxas de reciclagem, e grandes mineradoras tendem a se concentrar em *bulk minerals*, de forma que a maior parte dos orçamentos voltados para minerais críticos são de *junior companies*.³⁶ Isso já sinaliza as dificuldades e riscos em garantir fundos necessários para alavancar prospecção e produção aos níveis necessários (McCullough e Nassar, 2017; Castillo, Del Real e Roa, 2024; Söderholm, Ericsson e Hellman, 2024; Tyson, 2025).

Outro fator estrutural que está por trás do atraso nos investimentos em mineração é o ambiente regulatório da atividade. Não apenas nos países desenvolvidos, mas também nos países em desenvolvimento, o tempo entre a descoberta de uma jazida mineral e sua efetiva operação pode levar mais de uma década, por questões ambientais e pela própria complexidade de engenharia de preparação de uma mina para operação industrial (Mills, 2023; IEA, 2021; Mallett *et al.*, 2021; OECD, 2022). Conjunturalmente, pode-se aventar que as mineradoras estejam vislumbrando incertezas significativas nesse mercado para o futuro próximo. Uma delas pode decorrer da excessiva preponderância chinesa na ponta compradora e processadora desses minérios, pois as cotações internacionais basicamente dependem do apetite da manufatura chinesa e, em última

35. *Bulk minerals* são minerais abundantes, extraídos em grandes volumes com baixo valor por tonelada, como são os casos do ferro, da bauxita (alumínio) e do cobre; *critical minerals* são, geralmente, minerais com aplicações sensíveis em ramos tecnológicos dos mais variados, com ocorrência geológica menos abundante, com valores por tonelada muito superiores (Castillo, Del Real e Roa, 2024). O cobalto, por exemplo, é, geralmente, subproduto do cobre, na RDC, enquanto o molibdênio é subproduto da mineração do cobre no Chile. No presente trabalho, o conceito de minerais críticos se sobrepõe ao conceito de *critical minerals* e *bulk minerals*, denotando aquele conjunto de substâncias de altíssima importância para a transição energética, ainda que parte delas, pelo volume minerado, possa ser enquadrada como *bulk mineral*.

36. *Junior companies* são empresas mineradoras focadas em estágios iniciais da cadeia produtiva da mineração, notadamente na pesquisa geológica, e desempenham papel importante no desdobramento do conhecimento geológico e na descoberta de novas jazidas. São empresas, portanto, de alto risco financeiro e que geralmente negociam, com mineradoras maiores, suas descobertas, não se ocupando da condução de operações extrativas.

TEXTO para DISCUSSÃO

instância, das consecuições das metas de produção e crescimento econômico determinadas pelo governo chinês. Crescentes tensões geopolíticas envolvendo a China e os Estados Unidos (e seus polos de influência) adicionam elementos que inspiram cautela às mineradoras (Deberdt, Letourneau e Le Billon, 2025). Outra incerteza decorre da evolução tecnológica no segmento de carros eletrificados. Como mostrado anteriormente, as projeções sobre a composição das tecnologias do mercado de carros eletrificados estão mudando, o que tem efeitos diretos sobre a demanda por minerais críticos. Essa composição tecnológica diz respeito não apenas à motorização dos carros (se BEVs ou PHEVs), mas também às diferentes químicas das baterias (IEA, 2023a).

As dificuldades de expansão da oferta não decorrem apenas do forte incremento de demanda projetado e das incertezas acerca dos investimentos, mas também da realidade física das jazidas em operação e das novas descobertas. Para algumas substâncias, o teor de pureza dos minérios está em declínio. O minério de cobre, por exemplo, que já foi minerado com teores próximos de 2% (na primeira metade do século XX), está atualmente sendo minerado a níveis inferiores a 0,5%, com tendência de queda (Crowson, 2012). Menores níveis de pureza mineral implicam maiores custos de extração e refinamento, decorrentes de maior intensidade energética e hídrica e mais passivos ambientais – pelo aumento do volume dos rejeitos e do estéril (Calvo, Palacios e Valero, 2022; Aramendia *et al.*, 2023; Magdalena, Valero e Calvo, 2023). Essa tendência é verificada para muitas substâncias (Crowson, 2011; Mudd e Jowitt, 2014; Mudd, Jowitt e Werner, 2017; Northey, Mudd e Werner, 2018). Essa realidade, *coeteris paribus*, aumenta a complexidade das operações mineradoras e, no fim das contas, requer ainda mais investimentos.

Como apontado na seção 3, a produção mineral brasileira evoluiu em descompasso com a mundial entre 2017 e 2023, o que explicaria o desempenho sofrível do país no comércio internacional. Contudo, os dados de investimento em ativo imobilizado³⁷ do setor mineral (IBGE) e os de investimento em pesquisa mineral e na fase de lavra (ANM) do Brasil sugerem que o país está se preparando para exercer atuação mais assertiva no mercado mundial (gráfico 12 e tabela 9).

A mineração do ferro é absolutamente dominante no Brasil, em termos de produção e investimentos, respondendo por 77% do investimento físico do setor mineral brasileiro, no acumulado de 2013 a 2023,³⁸ pelos dados do IBGE. Excluindo-se a extração de

37. O presente trabalho não equiparou a formação bruta de capital fixo (FBCF) setorial ao conjunto dos dados de Ativo Total da Pesquisa Industrial Anual do IBGE, utilizado neste trabalho, que contempla o total de aquisições, melhorias e baixas de máquinas e equipamentos, meios de transporte, terrenos e edificações e outros ativos. A FBCF contempla os ativos intangíveis, além dos ativos fixos – tangíveis (IBGE, 2015).

38. Em reais de 2023. Foi utilizado, como deflator, o índice de preços da FBCF das Contas Nacionais Trimestrais. Utilizou-se a taxa de variação do índice trimestral para se calcular a variação média no ano e, então, o índice de preço encadeado anualmente da FBCF.

minério de ferro do cálculo, percebe-se que o investimento do setor mineral brasileiro (incorporando-se segmentos não avaliados nesse estudo) acompanhou, em linhas gerais, a tendência global, com o grande ciclo encerrado em 2014, estagnação, entre 2015 e 2019, e expansão entre 2020 e 2023. No recorte específico e aproximado da cesta de minerais da transição energética,³⁹ percebe-se a mesma tendência para os números gerais. Entretanto, a investigação do detalhamento dos investimentos por substância evidencia nuances importantes nessa tendência geral, com alguns minérios respondendo por grande proporção dos investimentos, enquanto outros tiveram níveis de investimento baixíssimos ou não tiveram investimento.

Os investimentos na extração de minério de alumínio (bauxita) não apresentaram tendência definida, com fortes oscilações anuais, e os investimentos em manganês jamais se recuperaram após o último ciclo; voltando à tabela 1, percebe-se que a produção de bauxita está estagnada desde 2018 e a de manganês despencou nos últimos anos. Os investimentos no setor no qual se encontram a grafita e o quartzo (outros não metálicos) mantiveram patamar estável ao longo de todo o período, com exceção do espasmo em 2016 (tabela 9).

TABELA 9

Investimentos em ativos tangíveis na mineração de minerais críticos da transição energética (2013-2023)

(Em R\$ 1 milhão)¹

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Outros metálicos não ferrosos	1.966,36	6.478,11	1.147,94	1.200,13	1.288,73	1.473,67	2.158,59	3.049,20	3.120,38	2.995,82	9.524,93
Minério de alumínio	1.333,91	364,24	288,93	128,97	1.069,56	1.504,60	58,94	2.000,49	353,42	300,00	1.821,89
Outros não metálicos	312,06	157,93	222,54	1.409,56	135,87	106,13	162,29	351,74	109,37	354,22	328,16
Minério de manganês	112,76	202,09	11,16	6,47	10,17	37,12	61,51	3,58	-4,35	12,30	17,96
Total	3.725,09	7.202,37	1.670,57	2.745,13	2.504,33	3.121,52	2.441,34	5.405,01	3.578,82	3.662,34	11.692,93

Fonte: Pesquisa Industrial Anual – Empresas (PIA-Empresas/IBGE). Disponível: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-empresa/quadros/brasil/2023>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Deflacionados pelo deflator implícito da FBCF das Contas Nacionais Trimestrais (2023 = 100).

39. CNAE 07.21-9: Extração de minério de alumínio; CNAE 07.29-4: Extração de minerais metálicos não ferrosos não especificados anteriormente, que contempla a mineração de cobalto, cobre, cromo, nióbio, lítio, molibdênio, níquel, zinco e terras-raras, mas também inclui antimônio, berílio, chumbo, tungstênio, titânio, vanádio e zircônio; CNAE 07.23-5: Extração de minério de manganês; e CNAE 08.99-1: Extração de minerais não metálicos não especificados anteriormente, que contempla a produção de quartzo (silício) e grafita, mas também de diversas outras substâncias. A junção dessas quatro CNAEs é, portanto, uma aproximação baseada na sobre-representação do cobre e do níquel (lítio e terras-raras, mais recentemente) na CNAE 07.29-4 e da grafita e do quartzo na CNAE 08.99-1.

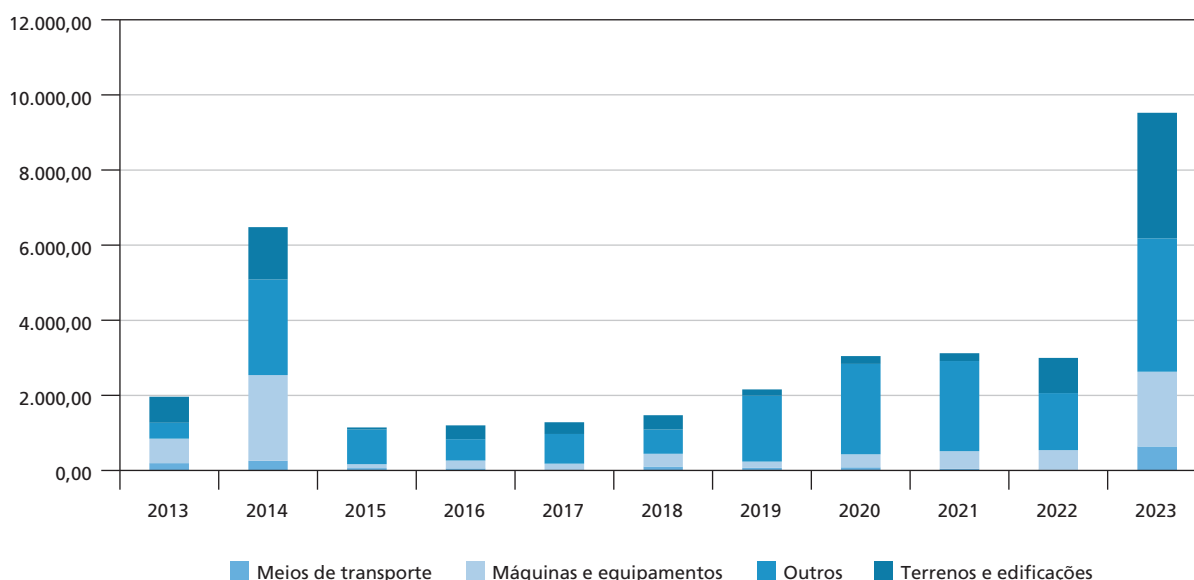
TEXTO para DISCUSSÃO

O destaque, portanto, decorre dos investimentos feitos em “outros metálicos não ferrosos”, setor que contempla cobre, cromo, níquel, lítio, terras-raras e zinco; esse subgrupo representou 70% do investimento no acumulado de 2015-2023, e 82% no acumulado recente de 2021-2023; entre 2015 e 2022, em termos reais, o investimento cresceu 30% a.a. em média, saindo do patamar de R\$ 1 bilhão para R\$ 9,5 bilhões anuais. O grande salto ocorreu entre 2022 e 2023, quando o investimento triplicou, de R\$ 2,9 bilhões para R\$ 9,5 bilhões. Ao se observar a composição dos investimentos nesse segmento, percebe-se que o investimento na categoria “outros” (que inclui mobiliário, microcomputadores, equipamentos de segurança etc.) cresceu 18,4% a.a.; em máquinas e equipamentos, cresceu 44,6% a.a.; os investimentos em terrenos e edificações ficaram estagnados entre 2015 e 2021 e tiveram enorme salto entre 2022 e 2023 (gráfico 12); investimentos em meios de transporte foram irrisórios até 2022, e apresentaram um salto em 2023.

GRÁFICO 12

Componentes do investimento do segmento “outros metálicos não ferrosos” (2013-2023)

(Em R\$ 1 milhão)¹



Fonte: Pesquisa Industrial Anual: tabela 7243 (PIA/IBGE). Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7243>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Deflacionados pelo deflator implícito da FBCF das Contas Nacionais Trimestrais (2023 = 100).

Existe um ponto cego na análise a partir dos dados do IBGE, que é a falta de detalhamento da categoria “outros metálicos não ferrosos”, que contempla cobre, cromo, níquel, lítio, terras-raras e zinco. A expansão verificada de 2015 em diante nos dados do IBGE é de um mineral apenas ou de todos? Os dados de investimento na fase de lavras da ANM podem elucidar essa questão (gráfico 13). A informação de “investimento” da ANM abarca despesas com ativo imobilizado (máquinas, equipamentos e meios de transporte, edificações – mas não terrenos) e inclui também despesas com inovações tecnológicas e de sistemas, estudos geotécnicos, geologia e pesquisa mineral em fase de operação de mina. São informações parecidas, portanto, mas não são iguais (ANM, 2024).

De qualquer modo, o gráfico 13 mostra como as informações do IBGE e da ANM são correlacionadas,⁴⁰ especialmente de 2016 em diante: um período de estagnação seguido por um período de elevação, tendo 2023 como auge. Nos dados da ANM, que possuem detalhamento por substância, alguns fatos se revelam: i) o cobre respondeu pela maior parte do investimento (58%, entre 2013 e 2023, do total do gráfico 13); ii) o zinco e o níquel permaneceram com investimentos estagnados na primeira metade do período, e observaram elevações do investimento de 2019 em diante, inclusive aumentando sua participação conjunta no total (juntos, foram 21% dos investimentos, até 2017, e 39%, de 2018 em diante, do total do gráfico 13); iii) o cromo teve investimentos desprezíveis, de 1,8% no período todo; iv) as terras-raras apresentaram investimento apenas em 2021 e 2023 (nesse ano, representaram 17% do gráfico 13); e iv) o lítio apresentou investimentos apenas em 2023 (7% do total registrado nesse ano).

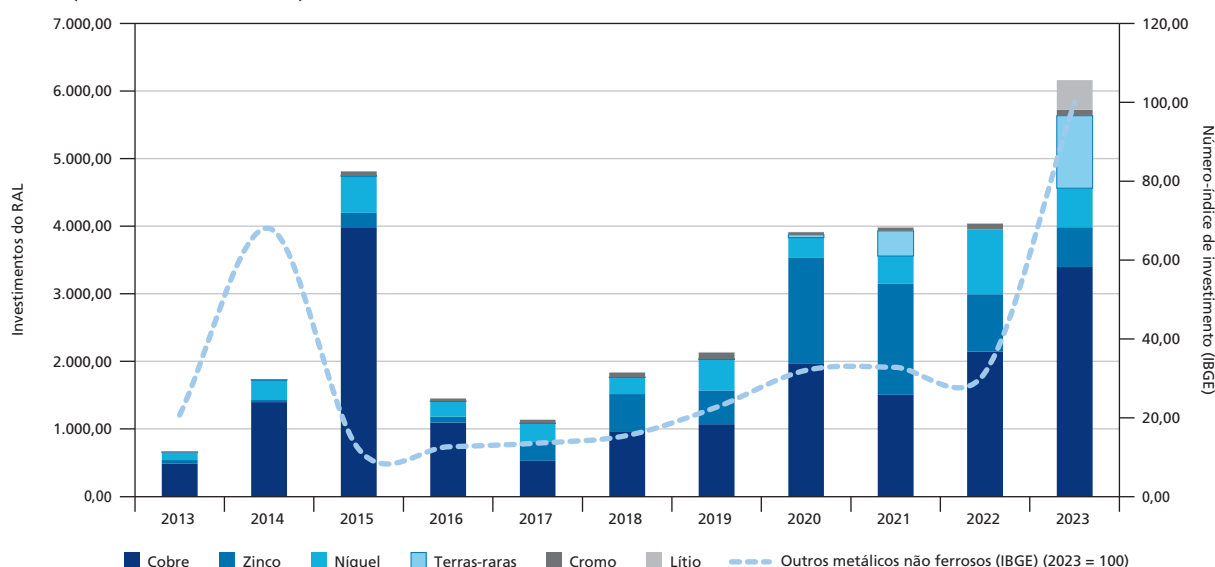
40. O índice de correlação do total do investimento em “outros metálicos não ferrosos” do IBGE (linha 1 da tabela 9) com o total do gráfico 13 é de 0,5 para o período de 2013 a 2023, mas de 0,88 para o período de 2016 a 2023. Há uma discrepância nos registros de 2014 e 2015, sem explicação aparente.

TEXTO para DISCUSSÃO

GRÁFICO 13

Investimentos na fase de operação de lavra (RAL/ANM) para alguns minerais da transição energética, equivalentes ao conceito “outros metálicos não ferrosos” do IBGE (2013-2023)

(Em R\$ 1 milhão)¹



Fonte: RAL/ANM. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/anuario-mineral-brasileiro-amb>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Deflacionados pelo IGPM (2023 = 100).

Ou seja, pelo que os dados de investimento do IBGE e da ANM (fase de lavra) indicam, as atividades de exploração mineral brasileiras cujos investimentos se somam para acompanhar a tendência global, especialmente de 2020 em diante, são cobre, níquel, zinco, lítio e terras-raras. A bauxita (minério de alumínio), como já mencionado, tem oscilações muito severas (tabela 9) e sem tendência definida. O manganês está com investimentos em mínimas históricas e o cromo tem investimentos muito reduzidos.

A observação conjunta das informações de investimento e produção física da tabela 1 (seção 2) sugere vínculos entre as duas variáveis:

- a produção de níquel, após queda de 2017 a 2019, iniciou trajetória de elevação de 2020 em diante, acompanhada de aumentos de investimento;
- a produção de zinco se manteve estagnada entre 2017 e 2022; em 2023, a produção nacional deu um salto, com o início de uma operação de extração de zinco em Mato Grosso; os investimentos na fase de lavra para o zinco apontados de 2020 a 2023 foram os preparativos desse empreendimento; e

- a produção de lítio cresceu bastante nos últimos anos, especialmente em 2023, ano em que se registraram elevados investimentos na fase de lavra, com o início das operações de mais um produtor em Minas Gerais.

A produção de terras-raras também cresceu bastante em 2022 e 2023, concomitantemente aos investimentos feitos em 2021 e 2023. A relação entre a produção de cobre e os investimentos na fase de lavra exigem uma explicação mais detalhada. Em 2022, a produção de cobre ficou interrompida por longo período, devido à manutenção de equipamentos numa das maiores operações de cobre do país – a mina de Salobo, no Pará, de propriedade da empresa Vale. No ano anterior, um incêndio na mesma operação paralisou as operações por algumas semanas (Vale, 2021, [s. d.]). Com a normalização dessa operação e os investimentos em alta, a produção, em 2023, recuperou os níveis do início da série, em 2017.

Ao se admitir a similaridade entre os gráficos 12 e 13 (e a linha 1 da tabela 9), é possível sugerir que o crescimento dos investimentos em ativo imobilizado visto nos dados do IBGE reflete, assim, a expansão de capacidade produtiva de 2020 em diante em exploração de cobre, níquel, zinco, lítio e terras-raras. Impressiona, nos dados do IBGE, a rubrica de terrenos e edificações e de máquinas e equipamentos em 2023, sugerindo forte expansão da capacidade de produção para os anos subsequentes.

Outra informação relevante para completar o quadro prospectivo da atividade mineradora brasileira para essa cesta de substâncias é o investimento em pesquisa mineral. Os dados da Dipem/ANM apontam na mesma direção dos dados do RAL/ANM e do IBGE. Em termos reais,⁴¹ o dispêndio em pesquisa mineral de todo o setor mineral brasileiro alcançou seu auge no período 2011-2013, com mais de R\$ 2,5 bilhões em 2011, e declinou consistentemente até 2020, quando alcançou menos de R\$ 900 milhões. O triênio 2021-2023 evidencia a revitalização da pesquisa mineral no país, que alcançou o patamar anual de R\$ 1,5 bilhão, em média, com especial destaque para o cobre, o lítio e as terras-raras (os números apresentados neste parágrafo, até aqui, englobam todas as substâncias minerais existentes, e não apenas as críticas da transição energética). Em 2023, o lítio foi a terceira substância mais pesquisada, representando 15% do R\$ 1,58 bilhão dispendido, ficando atrás apenas do ouro e do cobre, e à frente do ferro. Os investimentos em terras-raras também se destacaram; apesar de somarem meros 2% do total investido em 2023, com R\$ 32,3 milhões, representaram salto significativo em relação à média do período 2016-2021, de R\$ 2,5 milhões anuais; o último ciclo de investimentos relevantes em prospecção de terras-raras havia ocorrido em 2014-2015, quando foram alcançados R\$ 49 milhões. O gráfico 14 apresenta um detalhamento para o conjunto específico de minerais críticos da transição energética. É possível ver

41. Deflacionados pelo IGPM (2023 = 100).

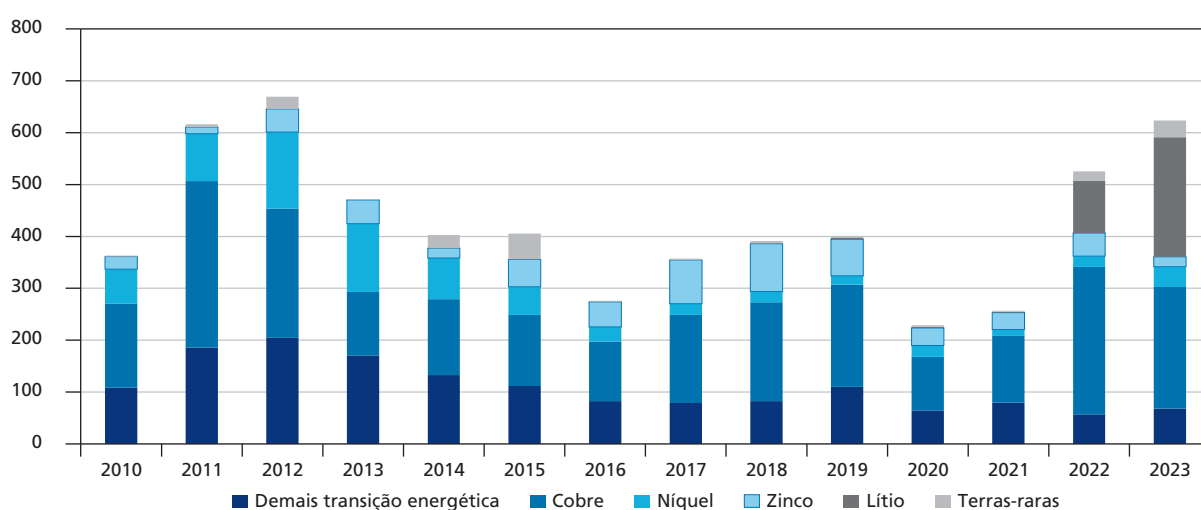
TEXTO para DISCUSSÃO

que o cobre sempre representou porção importante da pesquisa mineral, ainda que o lítio, como já mencionado, tenha aparecido como grande destaque em anos recentes.

GRÁFICO 14

Investimentos na etapa de pesquisa mineral para minerais da transição energética (2010-2023)

(Em R\$ 1 milhão)



Fonte: Dipem/ANM. Disponível em: <https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/dipem>.

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ Deflacionados pelo IGPM (2023 = 100).

7 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÃO

O Brasil detém consideráveis reservas de alguns dos minerais críticos da transição energética. Essa abundância potencial, entretanto, não se manifestou, de 2017 até 2023, ao menos, numa produção mineral significativa em termos globais. Nesse período, a produção nacional foi declinante ou estagnada para o conjunto dessas substâncias, perdendo participação no volume produzido globalmente, em descompasso com a tendência mundial de aumento expressivo de produção física. As exceções ficam por conta da extração de lítio – mineral cujas reservas brasileiras são não mais do que modestas, que tem aumentado a taxas anuais impressionantes, tendo dobrado a produção em 2023 em relação a 2022 –, e de zinco e níquel, em anos mais recentes. A análise de cada uma das substâncias sugere que os baixos volumes de investimento no passado recente (até 2018) condicionaram esse cenário de produção declinante ou estagnada; alternativamente, aquelas substâncias que observaram trajetórias de elevação de investimento (notadamente a partir de 2020) estiveram associadas a níveis mais elevados de produção, como apontado na seção 6.

O desempenho cadente da produção brasileira, apontado na seção 4, trouxe consequências danosas para a inserção do setor mineral brasileiro no comércio internacional. Até 2017, o país ganhou *market share* de maneira praticamente ininterrupta, saindo de 1,7% para 3,7%; dali até 2022, viu suas exportações crescerem bem abaixo da média mundial, perdendo participação nos fluxos exportadores globais, até regredir ao patamar de 2007; o crescimento em 2023 sugere uma quebra de tendência. É importante notar que o desempenho do Brasil no comércio exterior de minérios, durante todo o período analisado, se deve majoritariamente às exportações de minério de cobre. Não fosse o cobre, o país teria alcançado *market share* de apenas 1% do total comercializado globalmente entre 2002 e 2023, mesmo com o desempenho recente do lítio, por exemplo. No segmento de matérias-primas metalúrgicas e compostos químicos, o Brasil também apresentou trajetória de queda na participação do comércio internacional, ainda que o valor exportado tenha mantido relativa estabilidade durante o período.

Todavia, dados oficiais de investimento em capital físico, da fase de lavra e dispêndios em pesquisa mineral sugerem que esse quadro de prostração pode terminar. Após quase uma década de queda, os dispêndios declarados em pesquisa mineral iniciaram trajetória de elevação em 2021, tendo os minerais críticos da transição energética, especialmente o cobre, o lítio e as terras-raras, como alvos importantes de prospecção.

Além disso, os investimentos em capital físico do segmento de “outros minerais metálicos não ferrosos” estão em recuperação desde 2019-2020, após o fim do último ciclo de investimentos, encerrado em 2014, e a subsequente estagnação que se deu até 2018. Esse segmento, no triênio 2020-2022, permaneceu num patamar de investimentos anuais de R\$ 3 bilhões (em termos reais), acompanhando as elevações de investimentos globais em atividades mineradoras, o que sugere que a mineração brasileira está se preparando para o amplo ciclo de demanda mineral que se inicia. Em 2023, os investimentos em ativos imobilizados (segundo o IBGE) triplicaram, alcançando mais de R\$ 9 bilhões. Dados dos investimentos em fase de lavra da ANM corroboraram esses números, mostrando expansão nos investimentos em cobre, lítio, níquel, zinco e terras-raras.

A não ser que o país de fato tenha iniciado um ciclo duradouro de investimentos relevantes na expansão da capacidade extrativa, equiparando sua produção ao seu potencial geológico, é improvável que consiga avançar na cadeia produtiva em etapas de refinamento e processamento mineral (metalurgia e química) e, mais importante ainda, exercer papel de protagonista na geopolítica dos minerais críticos da transição energética. Como mencionado anteriormente, Indonésia (com o níquel), RDC (com o cobalto) e Chile (com o cobre), por exemplo, tornaram-se exportadores de matérias-primas metalúrgicas e químicas por terem, previamente, materializado todo o seu potencial

TEXTO para DISCUSSÃO

geológico, alcançando postos de liderança na produção mineral global (em substâncias específicas), com certo poder de mercado. A China, numa estratégia de longuíssimo prazo, explora intensamente seu potencial geológico e domina as etapas de processamento e refinamento mineral em nível global, e assim permanecerá, de acordo com as projeções mais confiáveis (IEA, 2025a). Portanto, para que o Brasil consiga emular, em algum nível, a estratégia chinesa, ou mais modestamente, a estratégia indonésia, os investimentos e a produção brasileira devem escalar para outro patamar e por lá permanecer por longos anos.

No âmbito legal e das políticas públicas, o Brasil tem avançado na criação de marcos regulatórios e incentivos para fomentar a produção e investimentos em minerais críticos e estratégicos. Já estão em vigor o Decreto nº 10.657/2021, pró-minerais estratégicos, que prioriza o licenciamento ambiental de projetos com esses minerais; o Decreto nº 11.108/2022, que institui a Política Mineral Nacional e o Conselho Nacional de Política Mineral; e o Plano Decenal de Mapeamento Geológico (PlanGeo). Encontra-se em tramitação, no Congresso Nacional, o Projeto de Lei (PL) nº 2.780/2024, que propõe a Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE). No que tange ao fomento financeiro, destacam-se as ações do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep): a criação do Fundo de Investimento em Participações (FIP) Minerais Estratégicos, com potencial de mobilizar até R\$ 1 bilhão, e o edital conjunto de 2025, que disponibilizou R\$ 5 bilhões em linhas de crédito e subvenção para projetos de transformação mineral, refino, desenvolvimento de componentes e reciclagem. Essas iniciativas buscam estimular investimentos em toda a cadeia produtiva, com foco especial nos minerais essenciais para a transição energética.

Embora essas iniciativas possam contribuir para a redução do custo do investimento na extração e incentivem a agregação de valor à produção mineral, é questionável se a falta de conhecimento geológico ou de incentivos fiscais constituem os principais entraves ao investimento. Dados apresentados ao longo deste estudo indicam que o Brasil já detém reservas significativas de minerais críticos, como terras-raras e grafita, há bastante tempo, sem que isso tenha se traduzido em produção ou investimentos relevantes, especialmente num comparativo internacional. Assim, além do avanço normativo e de incentivos tributários e creditícios, é necessário encontrar as reais causas estruturais que limitam o dinamismo nesse segmento – o que constitui pauta para estudos seguintes.

Enfim, o Brasil tem respeitável potencial geológico para as substâncias tratadas neste trabalho, mas, até recentemente, não havia conseguido materializar esse potencial em produção econômica robusta e, portanto, esteve distante do patamar de Austrália,

China, África do Sul e Chile, para citar alguns países. Sua atuação no comércio internacional, nas últimas duas décadas, foi tímida, refletindo as dificuldades internas de uma produção mineral claudicante. Entretanto, a expansão dos investimentos em capital físico e a retomada dos dispêndios em pesquisa geológica, nos últimos anos, em linha com as tendências mundiais, parecem preparar o país para um ciclo virtuoso de expansão da produção.

Um novo ciclo de investimentos, aparentemente em curso, pode impulsionar a mineração brasileira a operar num outro patamar de competitividade, mas é importante que as expectativas sobre o impacto do setor na economia brasileira sejam realistas. A cadeia produtiva⁴² da mineração brasileira, entre 2000 e 2019, oscilou entre 0,75% e 2% do PIB, a depender dos ciclos de expansão e retração das cotações das *commodities* minerais, especialmente do minério de ferro, que representa mais de dois terços do setor. Ao se excluir o ferro, toda a cadeia produtiva da mineração brasileira jamais ultrapassou 0,4% do PIB nacional (Leão e Rabelo, 2023). Certamente os impactos na balança comercial podem ser mais notáveis, em virtude do viés exportador do setor, e os impactos econômicos, em diversas localidades do país, podem ser substanciais, especialmente mediante o pagamento da Contribuição Financeira pela Exploração Mineral (CFEM) aos municípios mineradores, que usualmente a destinam para investimentos (Leão *et al.*, 2024b).

REFERÊNCIAS

AMNESTY INTERNATIONAL. “**This is what we die for**”: human rights abuses in the Democratic Republic of Congo power the global trade in cobalt. Londres: Amnesty International, 2016. Disponível em: <https://www.amnesty.org/en/documents/afr62/3183/2016/en/>.

ANGELO, Maurício Gomes. **Enquanto durarem os estoques**: contradições da mineração como pilar da transição energética justa. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2024.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Relatório Anual de Lavra (RAL)**: manual do usuário. Rio de Janeiro: ANM, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudos/manuais-e-procedimentos/manual-ral-usuario-2-1.pdf>.

42. A cadeia produtiva da mineração inclui o PIB da atividade mineradora e as frações do PIB de todo o resto da economia, a montante, que operaram subsidiariamente à atividade mineradora.

TEXTO para DISCUSSÃO

ARAMENDIA, Emmanuel *et al.* Global energy consumption of the mineral mining industry: exploring the historical perspective and future pathways to 2060. **Global Environmental Change**, v. 83, p. 1-24, dez. 2023.

ARFAOUI, Nadia; ROUBAUD, David; NAEEM, Muhammad. Energy transition metals, clean and dirty energy markets: a quantile-on-quantile risk transmission analysis of market dynamics. **Energy Economics**, v. 143, p. 1-15, mar. 2025.

BASHER, Syed Abul; SADORSKY, Perry. Do climate change risks affect the systemic risk between the stocks of clean energy, electric vehicles, and critical minerals? Analysis under changing market conditions. **Energy Economics**, v. 138, p. 1-14, out. 2024.

BERTHET, Etienne *et al.* Assessing the social and environmental impacts of critical mineral supply chains for the energy transition in Europe. **Global Environmental Change**, v. 86, p. 1-18, maio 2024.

BOBBA, S. *et al.* **Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study.** Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2020.

CALVO, Guiomar; PALACIOS, José-Luis; VALERO, Alicia. The influence of ore grade decline on energy consumption and GhG emissions: the case of gold. **Environmental Development**, v. 41, p. 1-11, mar. 2022.

CARR-WILSON, Savannah; PATTANAYAK, Subhrendu; WEINTHAL, Erika. Critical mineral mining in the energy transition: a systematic review of environmental, social, and governance risks and opportunities. **Energy Research & Social Science**, v. 116, p. 1-14, out. 2024.

CASTILLO, Emilio; DEL REAL, Irene; ROA, Cintia. Critical minerals versus major minerals: a comparative study of exploration budgets. **Mineral Economics**, v. 37, n. 3, p. 433-444, 14 ago. 2024.

CASTRO, Fernando Ferreira de *et al.* **Transição energética para fontes de energia renováveis e sua dependência por minerais críticos: aspectos geoeconômicos.** Brasília: Ipea, out. 2024. (Texto para Discussão, n. 3051).

CASTRO, Fernando Ferreira de; PEITER, Carlos Cesar; GÓES, Geraldo Sandoval. **Minerais estratégicos e críticos: uma visão internacional e da política mineral brasileira.** Brasília: Ipea, maio 2022. (Texto para Discussão, n. 2768).

CATHLES, Lawrence; SIMON, Adam. **Copper mining and vehicle electrification.** Riyadh: IEF, maio 2024. Disponível em: <https://www.ief.org/reports/copper-mining-and-vehicle-electrification/copper-mining-and-vehicle-electrification-report-download>. Acesso em: 1º jul. 2025.

COLLINS, Gabriel *et al.* Projecting demand for mineral-based critical materials in the energy transition for electricity. **Mineral Economics**, v. 37, n. 2, p. 245-263, jun. 2024.

CONSIDINE, Jennifer *et al.* The effects of a shock to critical minerals prices on the world oil price and inflation. **Energy Economics**, v. 127, p. 1-46, nov. 2023.

CROWSON, Phillip. Mine size and the structure of costs. **Resources Policy**, v. 29, n. 1-2, p. 15-36, mar.-jun. 2003.

CROWSON, Phillip Charles Francis. Mineral reserves and future minerals availability. **Mineral Economics**, v. 24, n. 1, p. 1-6, 2011.

CROWSON, Phillip. Some observations on copper yields and ore grades. **Resources Policy**, v. 37, n. 1, p. 59-72, mar. 2012.

DE LA TORRE DE PALACIOS, Luis; ESPÍ RODRÍGUEZ, José Antonio. Mineral raw materials, from their natural stock to their geopolitical behaviour. **Mineral Economics**, v. 37, n. 3, p. 547-571, set. 2024.

DEBERDT, Raphael; LETOURNEAU, Angeline; LE BILLON, Philippe. Unleashing american energy? Uncertainties in energy transition developments under a new Trump administration. **Energy Research & Social Science**, v. 126, p. 1-17, ago. 2025.

DELOITTE. **Minerais críticos do futuro e o papel estratégico do Brasil na transição para uma economia de baixo carbono**. [S. l.]: Deloitte, fev. 2025. Disponível em: <https://www.deloitte.com/br/pt/Industries/mining-metals/analysis/minerais-criticos.html>. Acesso em: 5 jul. 2025.

DEY, Sayan. The role of aluminium in the electric vehicle (EV) industry. **EVreporter**, 26 maio 2023. Disponível em: <https://evreporter.com/the-role-of-aluminium-in-the-ev-industry/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ERICSSON, Magnus. How tight is the Chinese grip on world's metal supply? **Mineral Economics**, v. 37, n. 4, p. 729-732, dez. 2024.

ESCOBAR, Brooke *et al.* **Power playbook**: Beijing's bid to secure overseas transition minerals. Williamsburg: AidData, jan. 2025. Disponível em: <https://www.aiddata.org/publications/power-playbook-beijings-bid-to-secure-overseas-transition-minerals>.

FERNANDEZ, Viviana. Assessing cycles of mine production and prices of industrial metals. **Resources Policy**, v. 63, p. 1-8, out. 2019.

FIKRU, Mahelet; KILINC-ATA, Nurcan. Do mineral imports increase in response to decarbonization indicators other than renewable energy? **Journal of Cleaner Production**, v. 435, p. 1-11, jan. 2024.

TEXTO para DISCUSSÃO

GHORBANI, Yousef *et al.* The strategic role of lithium in the green energy transition: towards an OPEC-style framework for green energy-mineral exporting countries (Gemec). **Resources Policy**, v. 90, p. 1-18, mar. 2024.

GULLEY, Andrew. One hundred years of cobalt production in the Democratic Republic of the Congo. **Resources Policy**, v. 79, p. 1-10, dez. 2022.

GULLEY, Andrew. The development of China's monopoly over cobalt battery materials. **Mineral Economics**, v. 37, n. 3, p. 619-631, set. 2024.

HEIDER, Mathias *et al.* A estrutura produtiva e potencialidades do cobre no Brasil. **In The Mine**, 9 set. 2024. Disponível em: <https://www.inthemine.com.br/site/a-estrutura-produtiva-e-potencialidades-do-cobre-no-brasil/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

HEIDER, Mathias; SIQUEIRA, David Fonseca. Novos potenciais das terras raras no Brasil. **In The Mine**, 6 nov. 2024. Disponível em: <https://www.inthemine.com.br/site/novos-potenciais-das-terras-raras-no-brasil-argilas-ionicas/>. Acesso em: 5 jul. 2025.

HOFFMAN, Rodolfo. **Estatística para economistas**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

HOLMAN, Jacqueline. More critical minerals investment required to meet energy transition demand: IEA. **S&P Global**, 17 maio 2024. Disponível em: <https://www.spglobal.com/energy/en/news-research/latest-news/energy-transition/051724-more-critical-minerals-investment-required-to-meet-energy-transition-demand-iea>. Acesso em: 13 jul. 2025.

HOOL, Alessandra; HELBIG, Christoph; WIERINK, Gijsbert. Challenges and opportunities of the European Critical Raw Materials Act. **Mineral Economics**, v. 37, n. 3, p. 661-668, set. 2024.

HUMPHREYS, David. **The remaking of the mining industry**. Londres: Palgrave MacMillan, 2015.

IASCO-PEREIRA, Hugo. **Capital estrangeiro nos setores de energia e de minerais estratégicos da economia brasileira**. Brasília: Ipea, jun. 2023. (Texto para Discussão, n. 2890).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Formação bruta de capital fixo**: (versão para informação e comentários). Rio de Janeiro: Conac/DPE/IBGE, jan. 2015. (Nota Metodológica, n. 13). Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Sistema_de_Contas_Nacionais/Notas_Metodologicas_2010/13_formacao_bruta_capital_fixo.pdf.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Fundamentos para políticas públicas em minerais críticos e estratégicos para o Brasil**. 1. ed. Brasília: Ibram, jun. 2024.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The role of critical minerals in clean energy transitions**. Paris: IEA, 5 maio 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2023**: catching up with climate ambitions. Paris: OECD Publishing, 26 abr. 2023a. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/global-ev-outlook-2023_cbe724e8-en. Acesso em: 13 jul. 2025.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Sustainable and responsible critical mineral supply chains**: guidance for policy makers. Paris: IEA, 13 dez. 2023b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/sustainable-and-responsible-critical-mineral-supply-chains>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Recycling of critical minerals**: strategies to scale up recycling and urban mining. Paris: IEA, nov. 2024a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/recycling-of-critical-minerals>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global energy and climate model**: documentation 2024. Paris: IEA, out. 2024b.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2024**: moving towards increased affordability. Paris: IEA, abr. 2024c. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Critical Minerals Outlook 2024**. Paris: IEA, 2024d. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Critical Minerals Outlook 2025**. Paris: IEA, maio 2025a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global EV Outlook 2025**: expanding sales in diverse markets. Paris: IEA, maio 2025b. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY; OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The role of traceability in critical mineral supply chains**. Paris: IEA; OECD Publishing, 28 fev. 2025. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/the-role-of-traceability-in-critical-mineral-supply-chains_edb0a451-en.html. Acesso em: 4 jul. 2025.

IMF – INTERNATIONAL MONETARY FUND. **IMF Primary Commodity Price Index (base: 2016=100)**. Washington: IMF, 25 jan. 2019.

TEXTO para DISCUSSÃO

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2023: synthesis report**. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 1º jul. 2025.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Geopolitics of the energy transition: critical materials**. Abu Dhabi: Irena, 2023.

IRENA – INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Geopolitics of the energy transition: energy security**. Abu Dhabi: Irena, 2024.

JACKS, David; STUERMER, Martin. What drives commodity price booms and busts? **Energy Economics**, v. 85, p. 1-8, jan. 2020.

JIANG, Zhuhua; DONG, Xiyong; YOON, Seong-Min. Impact of oil prices on key energy mineral prices: fresh evidence from quantile and wavelet approaches. **Energy Economics**, v. 145, p. 1-16, maio 2025. Disponível em: <https://www.ssrn.com/abstract=5093874>. Acesso em: 11 jun. 2025.

JONES, Bruce; STEVEN, David; O'BRIEN, Emily. **Fueling a new order?** The new geopolitical and security consequences of energy. Washington: Brookings, mar. 2014. Disponível em: <https://www.brookings.edu/articles/fueling-a-new-order-the-new-geopolitical-and-security-consequences-of-energy/>. Acesso em: 1º jul. 2025.

KETTLE, Julian. Have miners missed the boat to invest and get ahead of the energy transition? **Wood Mackenzie**, 12 jul. 2022. Disponível em: <https://www.woodmac.com/news/opinion/have-miners-missed-the-boat-to-invest-and-get-ahead-of-the-energy-transition/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

KUZEMKO, Caroline *et al.* Rethinking energy geopolitics: towards a geopolitical economy of global energy transformation. **Geopolitics**, v. 30, n. 2, p. 531-565, 2025.

LEÃO, Rafael *et al.* O posicionamento do Brasil no comércio internacional de minerais críticos para a transição energética. **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, Brasília, n. 76, p. 7-12, ago. 2024a.

LEÃO, Rafael *et al.* **O impacto dos royalties da exploração de recursos naturais nas finanças públicas municipais do Brasil**: estimativas a partir de instrumentos Bartik modificados. Brasília: Ipea, maio 2024b. (Texto para Discussão, n. 2996).

LEÃO, Rafael; RABELO, Rodrigo. **A extensão da cadeia produtiva da economia mineral no PIB brasileiro**. Rio de Janeiro: Ipea, dez. 2023. (Texto para Discussão, n. 2950).

LÈBRE, Eléonore; SHARMA, Vigya; CORZO REMIGIO, Amelia. Extracting minerals for the energy transition: local data for global decision making. **Journal of Cleaner Production**, v. 474, p. 1-10, out. 2024.

LINS, Fernando; VERA, Ysrael; DOURADO, Marcelo. Brasil é o segundo em reservas de terras raras no mundo. **Brasil Mineral**, 19 fev. 2025. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/brasil-e-o-segundo-em-reservas-de-terras-raras-no-mundo>. Acesso em: 5 jul. 2025.

MAGDALENA, Ricardo; VALERO, Alicia; CALVO, Guiomar. Limit of recovery: how future evolution of ore grades could influence energy consumption and prices for nickel, cobalt, and PGMs. **Minerals Engineering**, v. 200, p. 1-11, set. 2023.

MALLETT, Alexandra *et al.* Environmental impacts of mining in Brazil and the environmental licensing process: changes needed for changing times? **The Extractive Industries and Society**, v. 8, n. 3, p. 1-15, set. 2021.

MÅNBERGER, André; JOHANSSON, Bengt. The geopolitics of metals and metalloids used for the renewable energy transition. **Energy Strategy Reviews**, v. 26, p. 1-10, nov. 2019.

MARIEV, Oleg; ISLAM, Md. Monirul. The impact of financial stress, governance, and geopolitics on Europe's energy transition mineral trade. **Energy Economics**, v. 146, p. 1-36, maio 2025.

MCCULLOUGH, Erin; NASSAR, Nedal. Assessment of critical minerals: updated application of an early-warning screening methodology. **Mineral Economics**, v. 30, n. 3, p. 257-272, out. 2017.

MILLER, Eli. Refining power. **C4ADS**, 4 fev. 2025. Disponível em: <https://c4ads.org/commentary/refining-power/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

MILLS, Mark. Electric vehicles for everyone? The impossible dream. **Manhattan Institute**, 12 jul. 2023. Disponível em: <https://manhattan.institute/article/electric-vehicles-for-everyone-the-impossible-dream>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MINE 2025: concentrating on the future. **PWC**, 26 jun. 2025. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/publications/mine.html>. Acesso em: 13 jul. 2025.

MKODZONGI, Grasian. Lithium mining and national economic development in Zimbabwe. **Apri**, 18 set. 2024. Disponível em: <https://afripoli.org/lithium-mining-and-national-economic-development-in-zimbabwe>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MUDD, Gavin; JOWITT, Simon. A detailed assessment of global nickel resource trends and endowments. **Economic Geology**, v. 109, n. 7, p. 1813-1841, nov. 2014.

TEXTO para DISCUSSÃO

MUDD, Gavin; JOWITT, Simon; WERNER, Timothy. The world's lead-zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities. **Ore Geology Reviews**, v. 80, p. 1160-1190, 2017.

NORTHEY, Stephen; MUDD, Gavin; WERNER, Timothy. Unresolved complexity in assessments of mineral resource depletion and availability. **Natural Resources Research**, v. 27, n. 2, p. 241–255, abr. 2018.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Governança regulatória no setor de mineração no Brasil**. Paris: OECD, 2 fev. 2022.

OLIVEIRA, Mariano Laio de. **Matriz de relacionamentos de classificações de produtos e de atividades econômicas do setor mineral**: metodologia. Brasília: Ipea, jan. 2022. (Nota Técnica Diset, n. 94).

PASCUAL, Carlos. **The new geopolitics of energy**. Nova York: CGEP/Sipa/Columbia University, set. 2015. Disponível em: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/new-geopolitics-energy/>. Acesso em: 1º jul. 2025.

PHAM, Linh; HSU, Kuang-Chung. Metals of the future in a world in crisis: geopolitical disruptions and the cleantech metal industry. **Energy Economics**, v. 141, p. 1-31, jan. 2025.

PROHIBITION of the export of nickel ore. **IEA**, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://www.iea.org/policies/16084-prohibition-of-the-export-of-nickel-ore>. Acesso em: 4 set. 2025.

RADEBE, Nomkhosi; CHIPANGAMATE, Nelson. Mining industry risks, and future critical minerals and metals supply chain resilience in emerging markets. **Resources Policy**, v. 91, p. 1-12, abr. 2024.

SAADAoui, Jamel; SMYTH, Russell; VESPIGNANI, Joaquin. Ensuring the security of the clean energy transition: examining the impact of geopolitical risk on the price of critical minerals. **Energy Economics**, v. 142, p. 1-34, fev. 2025.

SHAO, Liuguo; CAO, Saisha; ZHANG, Hua. The impact of geopolitical risk on strategic emerging minerals prices: evidence from MODWT-based Granger causality test. **Resources Policy**, v. 88, p. 1-15, jan. 2024.

SHIQUAN, Dou; DEYI, Xu. The security of critical mineral supply chains. **Mineral Economics**, v. 36, n. 3, p. 401-412, set. 2023.

SILVA, G. F. da; CUNHA, I. de A.; COSTA, I. S. L. (org.). **An overview of critical and strategic minerals of Brazil**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2023.

SILVA, G. F. da; SILVA, A. D. R. da; SOUZA GAIA, S. M. de (org.). **An overview of critical and strategic minerals of Brazil**: 2024 edition. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2024.

SÖDERHOLM, Patrik; ERICSSON, Magnus; HELLMAN, Frida. The perils of ranking mining countries and regions: a critical look at the annual survey of the Fraser Institute. **Mineral Economics**, v. 37, n. 2, p. 313-330, jun. 2024.

SOUZA, Petain Ávila de. **Avaliação econômica de projetos de mineração**: análise de sensibilidade e análise de risco. Belo Horizonte: Ietec, 1995.

TYSON, Rob. Junior mining: challenges, opportunities, and the path forward. **Mining International**, 6 mar. 2025. Disponível em: <https://www.mining-international.org/junior-mining-challenges-opportunities/>. Acesso em: 13 jul. 2025.

USGS – U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries 2024**. Reston: USGS, 2024. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2024>. Acesso em: 6 jul. 2025.

VALACCHI, Giulia *et al.* Mining innovation and economic cycles: how commodity prices affect mining related patenting? **Mineral Economics**, v. 36, n. 3, p. 437-461, set. 2023.

VALE. **Relatório da administração 2022**. Rio de Janeiro: Vale, [s. d.]. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/92f4f4d4-485d-d8c0-4838-fc25ccaaafb0?origin=1>.

VALE. **Vale informa sobre incêndio na correia transportadora na mina do Salobo**. Rio de Janeiro: Vale, 5 out. 2021. (Comunicado ao Mercado). Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/6df7a795-a144-d92e-fd03-f35363b3e356?origin=1>.

WATARI, Takuma *et al.* Total material requirement for the global energy transition to 2050: a focus on transport and electricity. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 148, p. 91-103, set. 2019.

WEF – WORLD ECONOMIC FORUM. **Securing minerals for the energy transition**: unlocking the value chain through policy, investment and innovation. Genebra: WEF, set. 2024.

XING, Xinran *et al.* Revealing global supply risk of critical minerals essential for low-carbon energy technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 498, 145160, mar. 2025.

YERGIN, Daniel. **O novo mapa**: energia, clima e o conflito entre nações. Porto Alegre: Bookman, 2023.

YILMAZKUDAY, Hakan. Geopolitical risks and energy uncertainty: implications for global and domestic energy prices. **Energy Economics**, v. 140, 107985, dez. 2024.

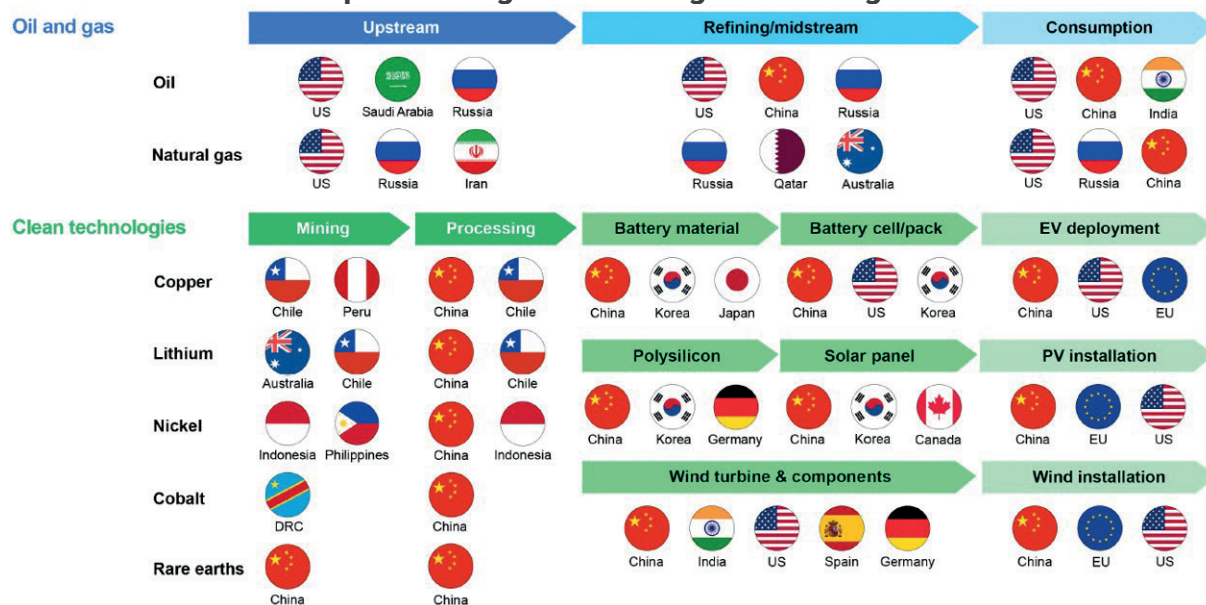
ZHU, Xuehong; DING, Qian; CHEN, Jinyu. How does critical mineral trade pattern affect renewable energy development? The mediating role of renewable energy technological progress. **Energy Economics**, v. 112, p. 1-18, ago. 2022.

TEXTO para DISCUSSÃO

APÊNDICE A

FIGURA A.1

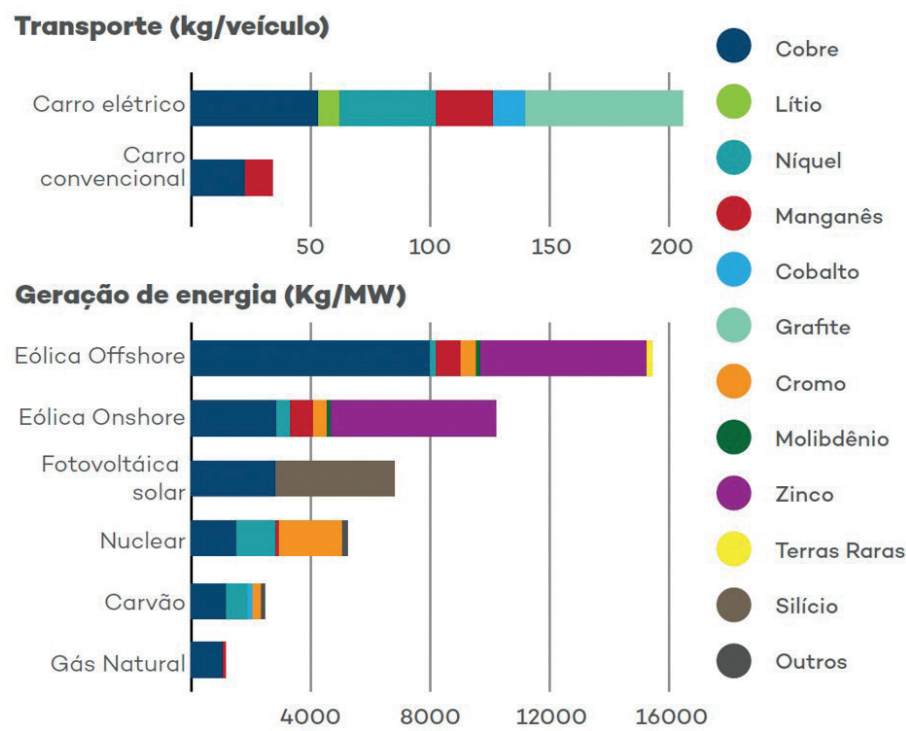
Cadeia de valor de petróleo e gás e tecnologias de energias renováveis



Fonte: IEA (2021).

Obs.: Ilustração reproduzida conforme o original (nota do Editorial).

GRÁFICO A.1
Intensidade mineral em tecnologias da transição energética



Fonte: Ibram (2024).

Obs.: 1. Kg – quilograma; e MW – megawatt.

2. Aço e alumínio não incluídos.

3. A demanda foi estimada a partir de quatro variáveis principais: i) tendências de inserção de renováveis em diferentes cenários; ii) participação de subtecnologias em cada área tecnológica; iii) intensidade mineral de cada subtecnologia; e, iv) melhorias na intensidade mineral.

4. Ilustração reproduzida conforme o original (nota do Editorial)

QUADRO A.1
Lista de códigos do Sistema Harmonizado (SH) utilizados neste estudo

Minérios e seus concentrados (primeiro elo)		
Código SH	Descrição SH	Substância
260600	Minérios de alumínio e seus concentrados	Alumínio
260500	Minérios de cobalto e seus concentrados	Cobalto
260300	Minérios de cobre e seus concentrados	Cobre
261000	Minérios de cromo e seus concentrados	Cromo
250410	Grafita natural, em pó ou em escamas	Grafita
250490	Outras formas de grafita natural	Grafita
253090	Outras matérias minerais (espodumênio, areias de zircônio, terras corantes)	Lítio e terras-raras e corantes
260200	Minérios de manganês e seus concentrados, incluídos os minérios de manganês ferruginosos e seus concentrados, de teor de manganês de 20% ou mais, em peso, sobre o produto seco	Manganês

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Minérios e seus concentrados (primeiro elo)		
Código SH	Descrição SH	Substância
261690	Minérios de outros metais preciosos e seus concentrados	Metais preciosos (incluindo os platinoides)
261310	Minérios de molibdênio ustulados e seus concentrados	Molibdênio
261390	Minérios de molibdênio não ustulados e concentrados	Molibdênio
260400	Minérios de níquel e seus concentrados	Níquel
250610	Quartzo	Nilício
260800	Minérios de zinco e seus concentrados	Zinco
Matérias-primas metalúrgicas e químicas (segundo elo)		
262040	Cinzas e resíduos contendo alumínio	Alumínio
281820	Óxidos de alumínio, exceto corindo artificial	Alumínio
281830	Hidróxido de alumínio	Alumínio
760110	Alumínio não ligado em forma bruta	Alumínio
760120	Ligas de alumínio, em formas brutas	Alumínio
760200	Desperdícios e resíduos, de alumínio	Alumínio
760310	Pós de alumínio, de estrutura não lamelar	Alumínio
760320	Pós de estrutura lamelar; escamas, de alumínio	Alumínio
282200	Óxidos e hidróxidos de cobalto, inclusive os comerciais	Cobalto
810510	Pós e maltes de cobalto; cobalto em bruto	Cobalto
810520	Mates de cobalto e outros produtos intermediários da metalurgia do cobalto; cobalto em formas brutas; pós	Cobalto
810530	Desperdícios e resíduos da metalurgia do cobalto	Cobalto
262030	Cinzas e resíduos contendo cobre	Cobre
740100	Mates de cobre, cobre de cementação (precipitado de cobre)	Cobre
740110	Mates de cobre	Cobre
740120	cobre de cementação (precipitado de cobre)	Cobre
740200	Cobre não refinado (afinado); ânodos de cobre para refinação (afinação) eletrolítica	Cobre
740311	Cátodos de cobre refinado e seus elementos, em formas brutas	Cobre
740312	Barras de cobre refinado, para obtenção de fios (wire-bars)	Cobre
740313	Palanquilhas de cobre refinado	Cobre
740319	Outros produtos de cobre refinado, em formas brutas	Cobre
740400	Desperdícios e resíduos, de cobre	Cobre
740500	Ligas-mães de cobre	Cobre
740610	Pós de cobre, de estrutura não lamelar	Cobre
740620	Pós de cobre, de estrutura lamelar; escamas de cobre	Cobre
281910	Trióxido de cromo	Cromo
281990	Óxidos e hidróxidos de cromo	Cromo
720241	Ferrocromo, contendo, em peso, mais de 4% de carbono	Cromo
720249	Outras ligas de ferrocromo	Cromo
720250	Ferrossilício-cromo	Cromo
811220	Cromo em bruto; obras, desperdícios e resíduos de cromo	Cromo
811221	Cromo em formas brutas; pós	Cromo
811222	Desperdícios e resíduos do cromo	Cromo

(Continua)

(Continuação)

Minérios e seus concentrados (primeiro elo)		
Código SH	Descrição SH	Substância
380120	Grafita coloidal ou semicoloidal	Grafita
380130	Pastas carbonadas para eletrodos e pastas semelhantes para revestimento interior de fornos	Grafita
380190	Outras preparações à base de grafita ou de outros carbonos, em pasta, blocos, lamelas ou outros produtos intermediários	Grafita
854519	Outros eletrodos de carvão, para usos elétricos	Grafita
282520	Óxido e hidróxido de lítio	Lítio
283691	Carbonatos de lítio	Lítio
284530	Lítio enriquecido	Lítio
282010	Dióxido de manganês	Manganês
282090	Outros óxidos de manganês	Manganês
720211	Ferromanganês, contendo, em peso, mais de 2% de carbono	Manganês
720219	Outras ligas de ferromanganês	Manganês
720230	Ferrossilício-manganês	Manganês
811100	Manganês e suas obras, incluídos os desperdícios e resíduos	Manganês
282570	Óxidos e hidróxidos de molibdênio	Molibdênio
720270	Ferromolibdênio	Molibdênio
810210	Pós de molibdênio	Molibdênio
810291	Molibdênio em forma bruta, inclusive barra sinter. desperd. etc	Molibdênio
810294	Molibdênio em formas brutas, incluídas as barras simplesmente obtidas por sinterização	Molibdênio
810297	Desperdícios e resíduos de molibdênio	Molibdênio
282540	Óxidos e hidróxidos de níquel	Níquel
282735	Cloreto de níquel	Níquel
283324	Sulfato de níquel	Níquel
720260	Ferroníquel	Níquel
750110	Mates de níquel	Níquel
750120	Sinters de óxidos de níquel e outros produtos intermediários da metalurgia do níquel	Níquel
750210	Níquel não ligado, em formas brutas	Níquel
750220	Ligas de níquel, em formas brutas	Níquel
750300	Desperdícios e resíduos, de níquel	Níquel
750400	Pós e escamas, de níquel	Níquel
711011	Platina em formas brutas ou em pó	Platinoides
711021	Paládio em formas brutas ou em pó	Platinoides
711031	Ródio em formas brutas ou em pó	Platinoides
711041	Írídio, ósmio e rutênio, em formas brutas ou em pó	Platinoides
711220	Desperdícios/resíduos de platina/metais folheados/chapados, de platina	Platinoides
711290	Desperdícios/resíduos de outros metais preciosos/metais folheados/chapados/metais preciosos	Platinoides
711292	Resíduos e desperdícios de platina ou de metais folheados ou chapeados de platina	Platinoides
280461	Silício, contendo, em peso, 99,99% ou mais de silício	Silício
280469	Outros silícios	Silício
710410	Quartzo piezo elétrico	Silício
720221	Ferrossilício, contendo em peso, mais de 55% de silício	Silício

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Minérios e seus concentrados (primeiro elo)		
Código SH	Descrição SH	Substância
720229	Outras ligas de ferrossilício	Silício
280530	Metais de terras-raras, escândio e ítrio, mesmo misturados ou ligados entre si	Terras-raras
284690	Outros compostos dos metais das terras-raras, de ítrio ou de escândio ou da mistura desses metais	Terras-raras
262011	Mates de galvanização (contendo zinco)	Zinco
262019	Outras cinzas e resíduos contendo zinco	Zinco
790111	Zinco não ligado, em formas brutas, contendo, em peso, 99,99% ou mais de zinco	Zinco
790112	Zinco não ligado, em formas brutas, contendo, em peso, menos de 99,99% de zinco	Zinco
790120	Ligas de zinco, em formas brutas	Zinco
790200	Desperdícios e resíduos, de zinco	Zinco
790310	Poeiras de zinco	Zinco
790390	Pós e escamas, de zinco	Zinco

Elaboração dos autores.

REFERÊNCIAS

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Fundamentos para políticas públicas em minerais críticos e estratégicos para o Brasil**. 1. ed. Brasília: Ibram, jun. 2024.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **The role of critical minerals in clean energy transitions**. Paris: IEA, 5 maio 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenadora

Denise Pimenta de Oliveira

Analistas Técnicos

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Revisora Sênior

Alice Souza Lopes

Revisão

Cláudio Passos de Oliveira

Emilly Dias de Matos

Felipe Fernando Reis Simon

Gisela Carneiro de Magalhães Ferreira

Katarinne Fabrizzi Maciel do Couto

Nayane Santos Rodrigues

Patricia Henriques Mafra

Reginaldo da Silva Domingos

Susana Sousa Brito

Yally Schayany Tavares Teixeira

Eduarda Silva de Souza dos Santos (estagiária)

Renata de Resende Brito (estagiária)

Diagramação/Web Design

Aeromilson Trajano de Mesquita

Augusto Lopes dos Santos Borges

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniel Alves Tavares

Danielle de Oliveira Ayres

Leonardo Hideki Higa

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

*The manuscripts in languages other than Portuguese
published herein have not been proofread.*

Ipea – Brasília

Setor de Edifícios Públicos Sul 702/902, Bloco C

Centro Empresarial Brasília 50, Torre B

CEP: 70390-025, Asa Sul, Brasília-DF

Acesse nossas publicações



Acompanhe nossas redes sociais



Composto em roboto regular 10/12 (texto)
Roboto regular, bold, black 12/14 (títulos)
Roboto regular 10 (gráficos e tabelas)
Brasília-DF

Missão do Ipea
Qualificar a tomada de decisão do Estado e o debate público.