



Minerais críticos e estratégicos para a transição energética

Março 2025



Caderno: Minerais críticos e estratégicos para a transição energética

Presidente

Thiago Guilherme Ferreira Prado

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Thiago Ivanoski Teixeira

Diretora de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis

Heloisa Borges Bastos Esteves

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Reinaldo da Cruz Garcia

Coordenação Executiva

Carla Achão

Coordenação Técnica

Gustavo Naciff de Andrade

Equipe Técnica

Superintendência de Estudos Econômico-Energéticos

Bruno Scola

Giovanna Carneiro Ronze Pedreira

Marina Martins Klostermann

Natália Gonçalves de Moraes

Superintendência de Derivados de Petróleo e Biocombustíveis

Angela Costa

Gabriel Jorge

Lucas Moraes

Marcelo Cavalcanti

Patrícia Stelling

Rachel Henriques

Superintendência de Transmissão de Energia

Bruno Scarpa

Valor público



O caderno "**Minerais críticos e estratégicos para a transição energética**" traz uma **análise integrada** da matriz energética nacional, conectando-a à importância da mineração de minerais críticos.



A publicação destaca o papel essencial desses minerais para **viabilizar a transição energética**, tanto em contexto nacional quanto internacional, com foco na **sustentabilidade e segurança de suprimento**.



Baseando-se nos dados do **Plano Decenal de Energia 2034**, o caderno apresenta **projeções dos minerais mais demandados** para a matriz energética brasileira e para a eletromobilidade.



Sumário

	A importância de minerais na transição energética: contexto e conceitos	pág 05
	A nova dinâmica no mercado de mineração	pág 16
	O futuro dos minerais na transição energética	pág 22
	Minerais nos cenários de longo prazo	pág 25
	Minerais na transição energética brasileira	pág 28
	Minerais estratégicos e seus desafios e oportunidades no Brasil	pág 38

Clique nos ícones e vá direto ao conteúdo desejado





A importância de minerais na transição energética: contexto e conceitos

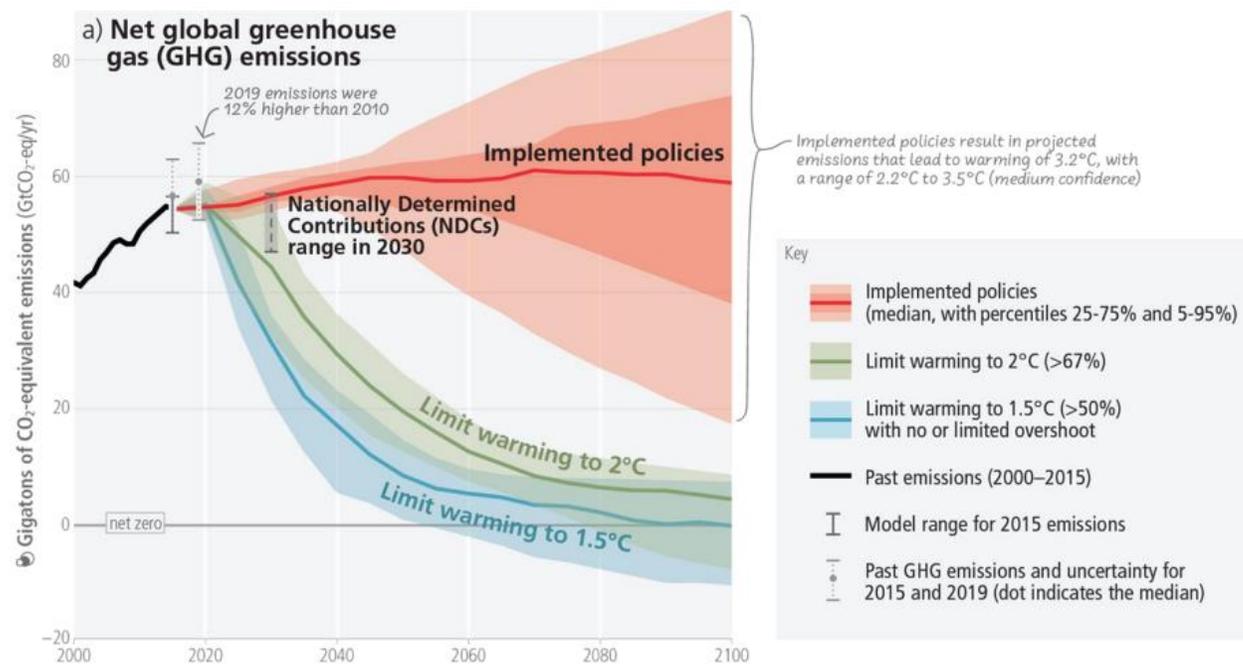


Transição energética no contexto da emergência climática

A transição energética é vital no contexto de emergência climática que vivemos. Uma nova infraestrutura energética global capaz de proporcionar um aumento da oferta de energias renováveis, eficiência energética e otimização de redes de energia elétrica se faz necessária e urgente para limitar o aquecimento global.



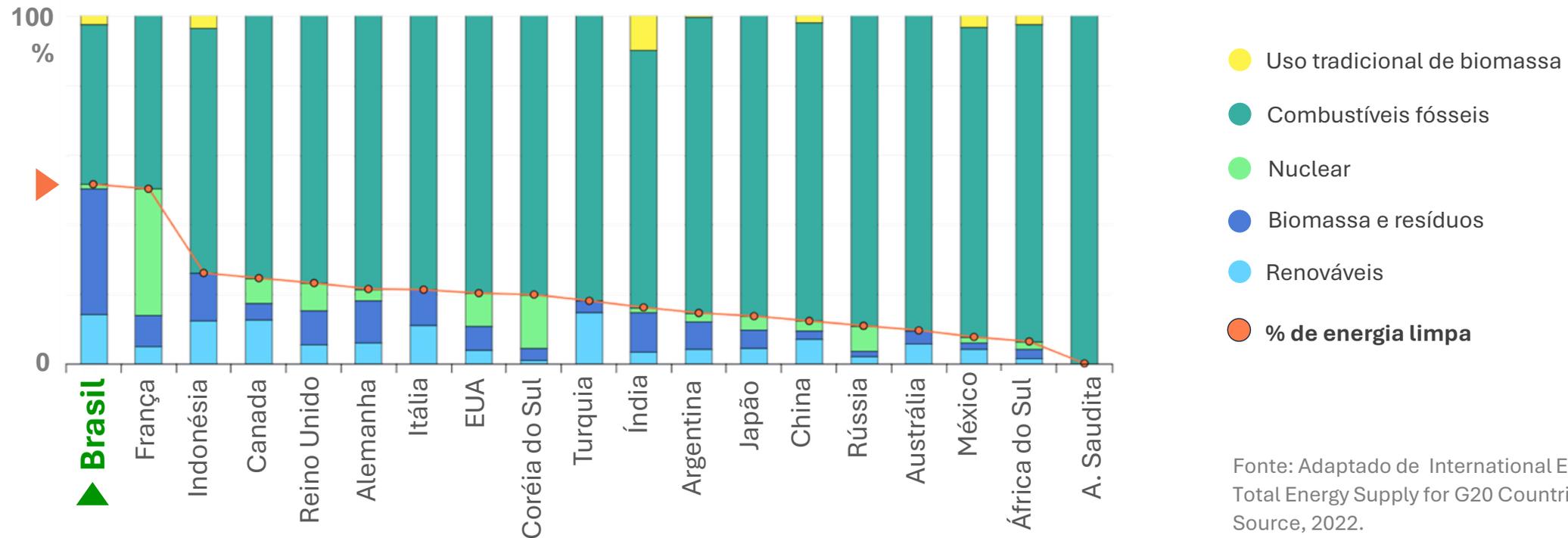
Limitar o aquecimento global a 1,5°C e 2°C envolve **reduções** substanciais de emissões de **gases de efeito estufa** e em grande **velocidade**.



Fonte: Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Relatório de Síntese do Sexto Relatório de Avaliação (AR6), 2023.

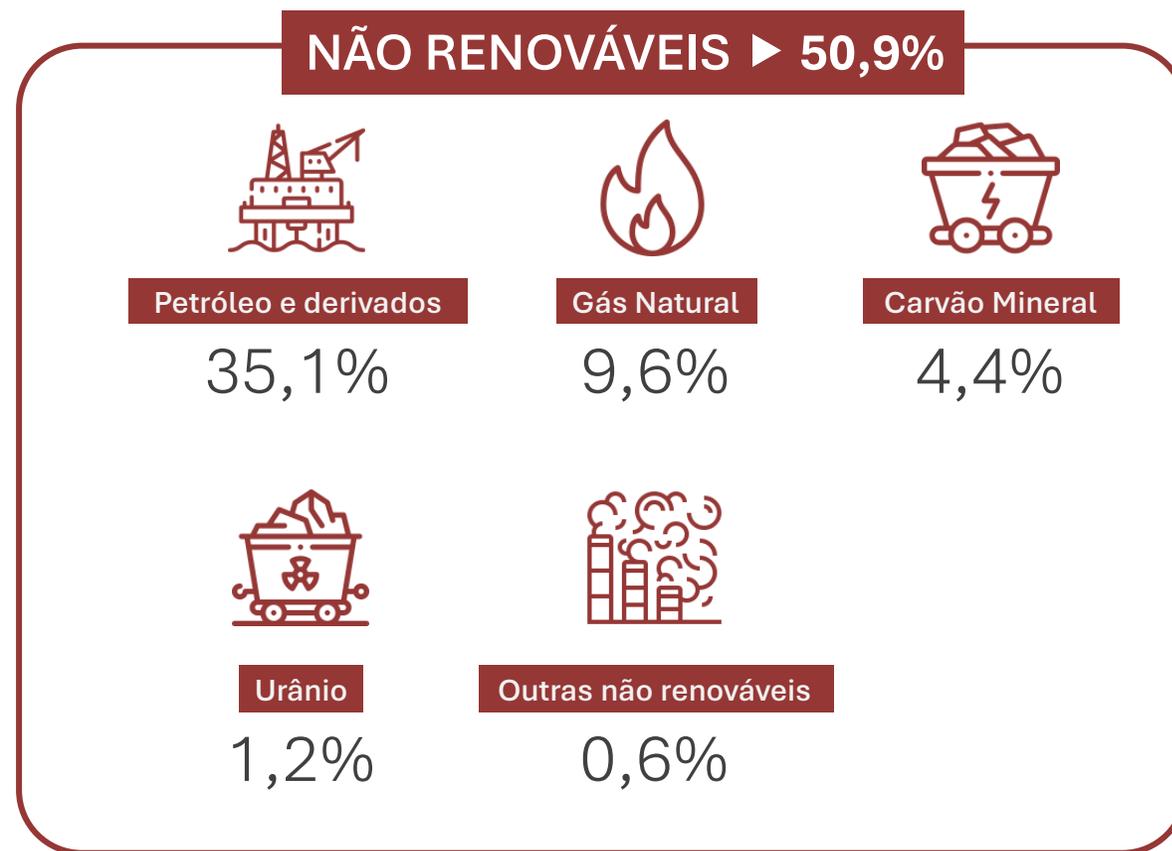
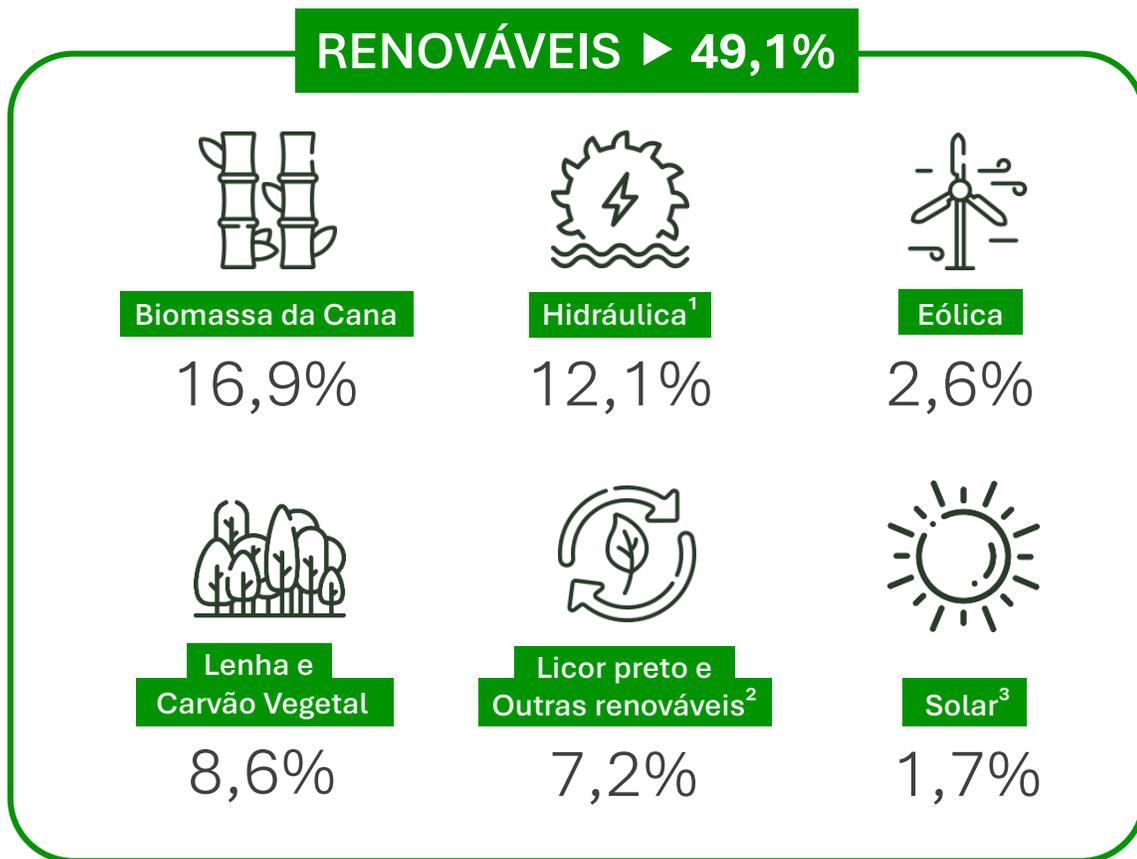
Qual o ponto de partida do Brasil na transição energética global?

Grau de renovabilidade da matriz energética de diferentes países



A transição energética atual é um processo de transformações em direção a uma economia de baixo carbono e menor pegada ambiental. O Brasil destaca-se no cenário global por possuir a maior participação de fontes de energia limpa em sua matriz energética entre as principais economias do mundo, reflexo de uma série de políticas energéticas implementadas ao longo do tempo.

Renovabilidade da matriz energética: Biomassa e energia hidráulica são destaques

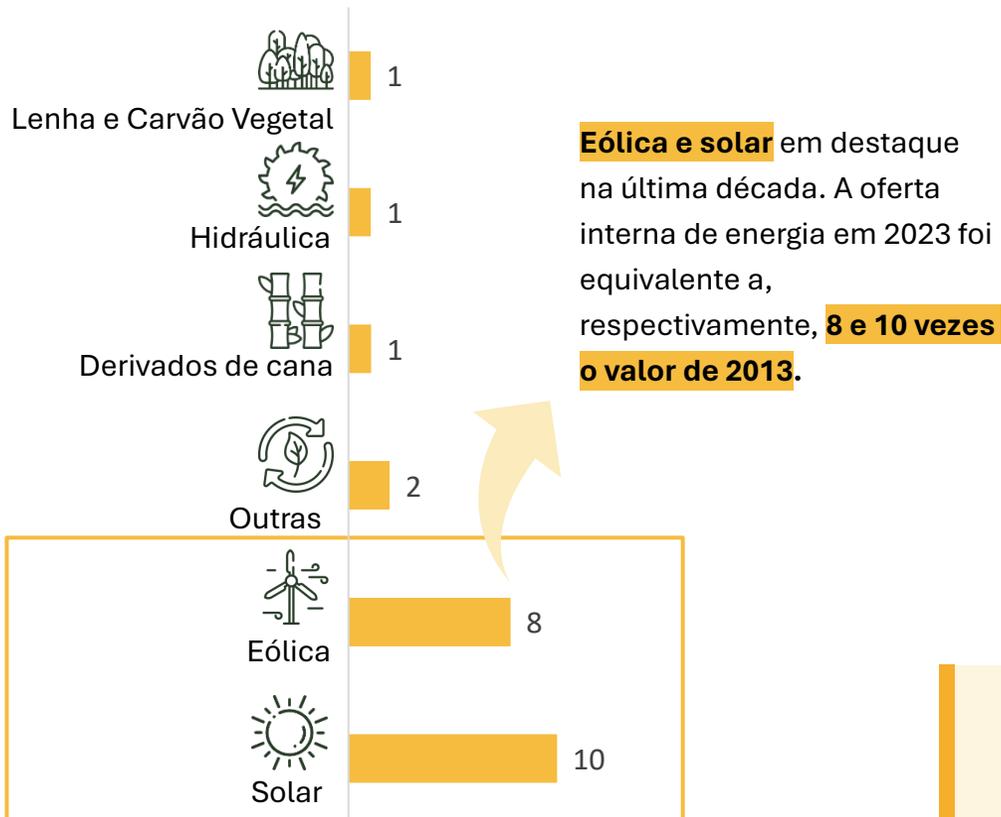


Fonte: EPE. Balanço Energético Nacional 2024, ano base 2023.

Para onde vamos? Eólica e solar ganham destaque na oferta interna de energia

Histórico de oferta interna de energia renováveis

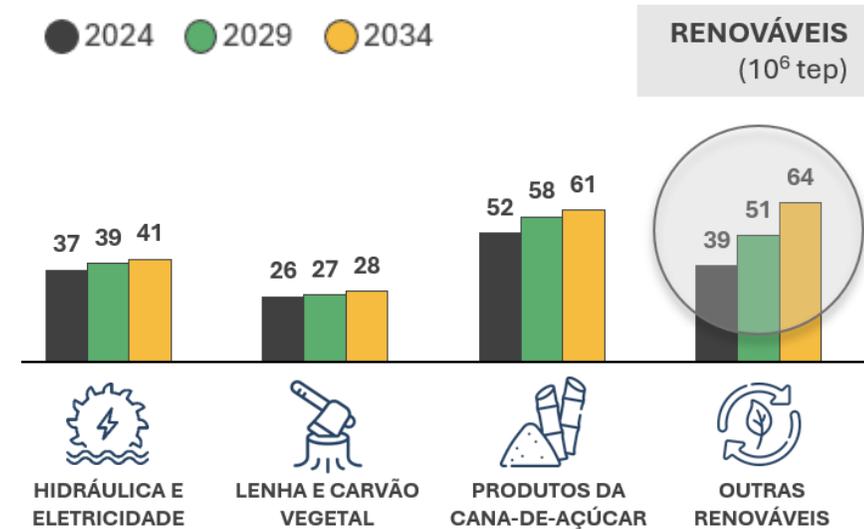
Crescimento última década (2023/2014)



Fonte: EPE. Balanço Energético Nacional 2024, ano base 2023.

Projeção da oferta interna de energia renováveis

Estimativa para o horizonte decenal (2024/2034)



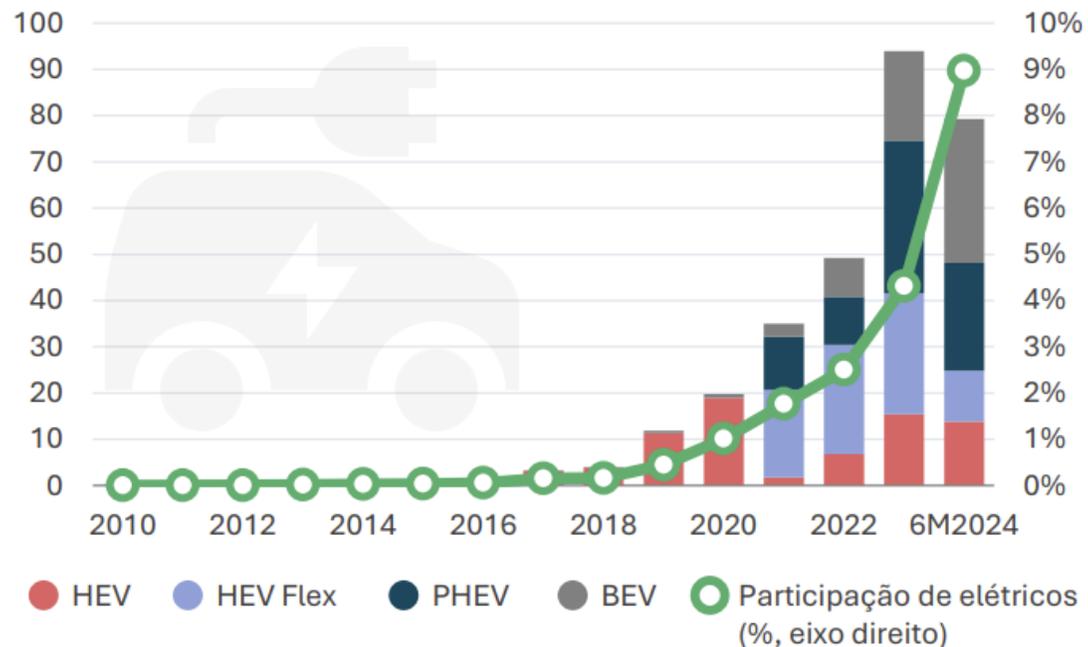
Fonte: EPE. PDE 2034: Caderno de Consolidação de Resultados.

Nas projeções do **Plano Decenal de Energia 2034** as energias renováveis têm um crescimento médio de 2,4% a.a. na Oferta Interna de Energia, com destaque para a **energia eólica e solar**. Essas tecnologias demandam mais minerais do que as tecnologias convencionais.

Eletrificação nos transportes também demandam mais minerais

Vendas anuais de veículos eletrificados no Brasil

Mil unidades



Fonte: EPE. Estudos do Plano decenal de energia 2034. Eletromobilidade: Transporte Rodoviário, usando dados de ABVE e Anfavea.



Penetração de eletrificados continua a **umentar rapidamente**.



Políticas públicas de incentivos à descarbonização do setor automotivo, como o **Programa de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER)**, poderão promover o aumento da oferta desses veículos.



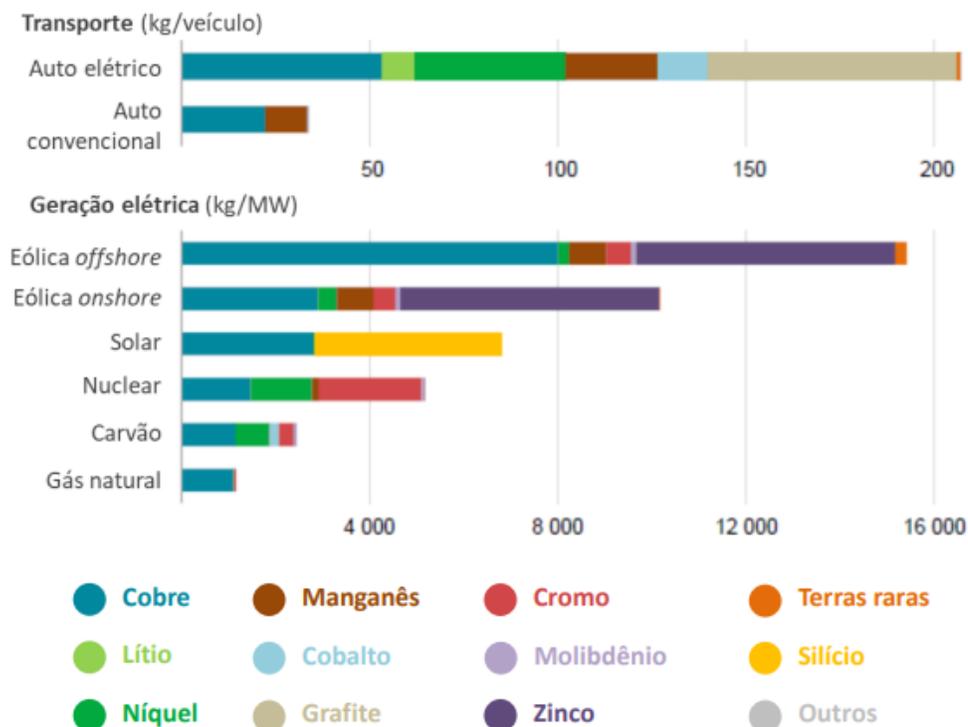
O aumento da demanda por baterias representa extração e mineração de maiores quantidades de minerais estratégicos, particularmente **lítio, cobalto, níquel e grafite**.



Na manufatura de veículos automotivos elétricos, o **lítio** tem presença importante, sendo utilizado nos anodos, catodos e eletrólitos das **células da bateria**, representando 8,9 kg por veículo, segundo IEA. Tal quantidade é muito superior à utilizada em veículos leves convencionais de combustão interna.

A transição energética é mais intensiva em minerais

Minerais utilizados em tecnologias de energia limpa e tradicionais



- Carro elétrico típico = **6x** mais insumos minerais do que um carro convencional*;



- Parque eólico terrestre = **9x** mais recursos minerais do que uma usina a gás;



- Desde 2010, a quantidade média de minerais necessários para uma nova unidade de capacidade de geração de energia aumentou em 50%, à medida que a participação de energia renovável tem crescido.



Veículos movidos a biocombustíveis não geram demandas adicionais por minerais quando comparados aos veículos movidos por combustíveis fósseis.

Nota: Tecnologias limpas são as soluções para reduzir as emissões de CO₂. Estão incluídas células fotovoltaicas, pás de turbinas eólicas, baterias, entre outros.

Fonte: Adaptado de The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. IEA, 2021.

*A comparação não considera os montantes necessários para chassis e carrocerias, geralmente feitos com ligas de aço e/ou alumínio.

Minerais críticos x estratégicos: definições e categorias no Brasil

- Um **mineral crítico** é um recurso essencial para a economia, cujo fornecimento está em risco e cuja ausência pode causar graves impactos econômicos, ambientais, de segurança e sociais. (Adaptado de ISO, 2023)
- Um mineral é classificado **estratégico** se atender a um dos seguintes critérios:



Categoria I: O país depende de sua importação em grande escala para suprir setores vitais da economia;



Categoria II: Sua importância está crescendo devido à aplicação em produtos e processos de alta tecnologia;



Categoria III: É essencial para a economia nacional, proporcionando vantagens competitivas e contribuindo para o superávit na balança comercial do país.

Fonte: Adaptado do Plano Nacional de Mineração 2030.

A **Categoria I** abrange, principalmente, os minerais utilizados na nutrição mineral de plantas, amplamente empregados no agronegócio. Atualmente, o Brasil depende significativamente da importação desses minerais, o que reforça sua importância estratégica.



Minerais distintos podem ter classificações variadas dependendo do país em questão. Um exemplo é o nióbio, considerado mineral crítico pela União Europeia e Estados Unidos, enquanto o Brasil o classifica como mineral estratégico. Essa diferença influencia o tratamento da produção em cada país, especialmente no acesso a incentivos econômicos.

Os minerais são classificados como críticos e estratégicos

	Minerais Estratégicos - Brasil			EUA	UE
	Cat. I	Cat. II	Cat. III	M. Críticos	M.P Críticas
Molibdênio					
Fosfato					
Potássio					
Enxofre					
Cobalto					
Lítio					
Níquel					
Terra Raras					
Platina e Grupo					
Silício Metálico					
Tálio					
Tantalo					
Estanho					
Titanio					
Tungstênio					
Vanádio					
Cobre					
Grafite					
Nióbio					
Urânio					
Alumínio					
Ferro					
Manganês					
Ouro					

A tabela apresenta os minerais estratégicos do Brasil, conforme a Resolução do CTAPME nº 2/2021, e comparação com EUA e UE.

Categorias Brasileiras: Não são excludentes; minerais como cobre, grafite, nióbio e urânio aparecem em mais de uma categoria.

Transição Energética: Os minerais críticos para a transição energética estão principalmente na Categoria II no Brasil e coincidem, em grande parte, com as listas mais amplas dos EUA (50 minerais) e UE (34 minerais).

Atualização: A revisão das listas deve ser frequente; estudos como o da IRENA/NUPI, 2024 sugerem intervalos de 2 anos.

Fonte: Adaptação EPE a partir dos dados da lista brasileira (Resolução nº 2/2021 do MME); EUA (DOE - U.S. Department of Energy, última atualização 2021) UE (Critical Raw Materials - European Commission, última atualização 2021).

Minerais e as tecnologias para transição energética

	Cobre	Cobalto	Níquel	Lítio	ETRs	Cromo	Zinco	MGP	Alumínio
Solar PV	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Eólica	●	○	●	○	●	●	●	○	●
Hidrelétrica	●	○	○	○	○	●	●	○	●
CSP	●	○	●	○	○	●	●	○	●
Bioenergia	●	○	○	○	○	○	●	○	●
Geotérmica	○	○	●	○	○	●	○	○	○
Nuclear	●	○	●	○	○	●	○	○	○
Redes elétricas	●	○	○	○	○	○	○	○	●
VEs e baterias	●	●	●	●	●	○	○	○	●
Hidrogênio	○	○	●	○	●	○	○	●	●

A tonalidade indica a importância relativa dos minerais para uma determinada tecnologia. Quanto mais escura a tonalidade, maior a intensidade da importância.

Hidreletricidade e bioenergia destacam-se como fontes de energia alternativa com baixa demanda por minerais, cujos materiais utilizados são amplamente aplicáveis a diferentes tecnologias e não exclusivos dessas fontes.

Fonte: Adaptado de IEA, 2021

- **O cobre e o alumínio** são usados em várias tecnologias de energia limpa, destacando seu papel crítico.
- **Lítio, níquel, cobalto, manganês e grafite** são cruciais para o desempenho, longevidade e densidade de energia da bateria.
- **Terras raras** são essenciais para ímãs permanentes, fundamentais para turbinas eólicas e motores de veículos elétricos.
- As redes elétricas demandam uma grande quantidade de **cobre e alumínio**, sendo o cobre a pedra angular de todas as tecnologias relacionadas à eletricidade.

Oferta de minerais críticos e questões geopolíticas

Cadeias produtivas de petróleo, gás e tecnologias limpas



Fonte: Adaptado WEO da IEA, 2021.

- Produção de minerais requeridos para a transição energética é **mais concentrada geograficamente** que a de óleo e gás. Muitos dos materiais também são produzidos em locais com estresse hídrico elevado (IEA).
- O **processamento** desses minerais críticos é ainda mais concentrado, com a China sendo responsável por entre 40% e 80% para materiais como cobre, níquel, cobalto, lítio e terras raras (IEA).
- Investimentos em diversificação de países para mitigar o risco geopolítico **podem elevar os custos de produção**, dependendo de fatores como mão de obra e nível de controle e regulação.



A nova dinâmica no mercado de mineração

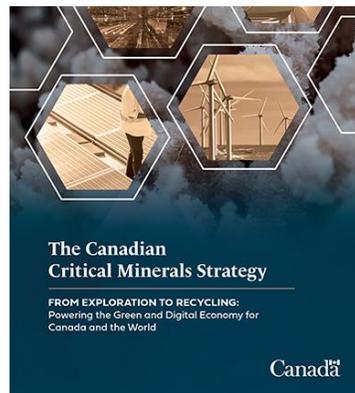


Novas políticas prezam pela garantia dos suprimentos

Segurança e diversificação das cadeias de suprimento de minerais críticos e estratégicos em linha com parâmetros de sustentabilidade e desenvolvimento econômico estão entre os objetivos principais das políticas públicas lançadas nos últimos anos.

Canadá

Critical Minerals Strategy 2022



A Critical Minerals Strategy do Canadá (2022) busca acelerar o licenciamento ambiental e fortalecer o mapeamento geológico para atrair investimentos em exploração e processamento de minerais críticos. A estratégia também prioriza sustentabilidade, segurança energética e redução da dependência de fornecedores estrangeiros..

EUA

Inflation Reduction Act (IRA) 2022

INFLATION REDUCTION ACT OF 2022

Public Law 117-169



Estabelece subsídios significativos para a produção de veículos elétricos que utilizam materiais críticos, como lítio, cobalto e níquel extraídos ou reciclados nos EUA ou em países com os quais os EUA têm acordos comerciais. O IRA destina cerca de US\$ 500 Bi em investimentos verdes, com uma parte significativa voltada para P&D em tecnologias relacionadas a baterias e eletrificação.

União Européia

Critical Raw Materials (CRM) 2023



O Critical Raw Material (CRM) estabelece parâmetros de referência para as capacidades nacionais ao longo da cadeia de abastecimento de matérias-primas da UE até 2030. Dentre eles, a meta de que neste horizonte, não mais de 65% do consumo anual de cada matéria-prima estratégica, em qualquer fase relevante de transformação, seja proveniente de um único país terceiro.

Ações que estimulam a indústria de mineração no Brasil

SGB/CPRM elabora “**Caderno de Cadeias Produtivas dos Minerais para a Transição Energética**” como parte dos estudos preparatórios para o **Plano Nacional de Mineração 2050 (PNM 2050)**

MME reformulou o Decreto nº 11.964/2024, permitindo **debêntures** para **projetos de minerais estratégicos**, com benefícios fiscais para investidores e emissores, fortalecendo a competitividade e a sustentabilidade no setor mineral.

Sancionado o **Programa MOVER** que Estimula investimentos em novas tecnologias e aumenta as exigências para descarbonizar a frota automotiva brasileira, abrangendo carros, ônibus e caminhões.

O **BNDES** e a **Finep** lançaram uma chamada pública com orçamento de R\$ 5 bilhões para **fomentar projetos** que desenvolvam a cadeia de **minerais estratégicos** no Brasil. Consulta Pública nº 180 do **MME** busca definir critérios para **debêntures incentivadas** em projetos de **minerais estratégicos** para a transição energética.



SGB/CPRM inicia **Série Minerais Estratégicos**, a série avalia o potencial brasileiro de minerais como lítio, grafita, fosfato e terras raras, essenciais para a transição energética.

BNDES e MME lançam edital do fundo **FIP** com estimativa de mobilizar até R\$ 1 bilhão para projetos de minerais estratégicos para transição energética, com aporte de até R\$ 250 milhões do Banco. E em outubro de 2024 foi anunciado vencedor que vai gerir o fundo de minerais estratégicos.



Política Nacional de Transição Energética (PNTE) define as diretrizes estratégicas para a transição do país para uma matriz energética mais sustentável, resiliente e de baixo carbono.

Montadoras e outros players

A entrada de grandes montadoras de veículos e outros integrantes desta cadeia nos anos recentes se traduz em novas parcerias com mineradoras e processadores através de *joint ventures*, e acordos de fornecimento para garantir a oferta de minerais críticos.



A Volkswagen planeja construir sua primeira **fábrica de baterias no Canadá** e fez parceria com operações de mineração lá para garantir o fornecimento de matérias-primas.



A Mercedes-Benz abriu um escritório de matérias-primas no Canadá para gerenciar esforços de aquisição e assinou um acordo de cooperação de materiais de bateria com o governo canadense. A empresa indicou estar disposta a **investir diretamente em minas**, se necessário, para garantir recursos.



A General Motors está fazendo um **investimento de capital de US\$ 650 milhões na Lithium Americas Corp.**, acelerando o desenvolvimento do projeto de lítio Thacker Pass, a maior fonte conhecida de lítio nos EUA, que deverá apoiar a produção de quase 1 milhão de veículos elétricos anualmente.

Mine 2023, PwC

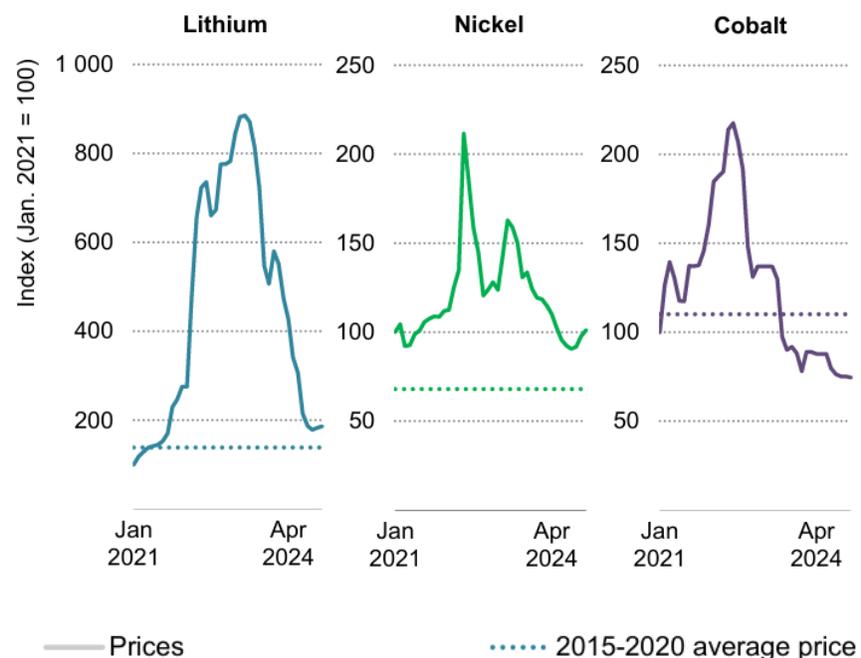


CLARUS Technology, brclarus.com

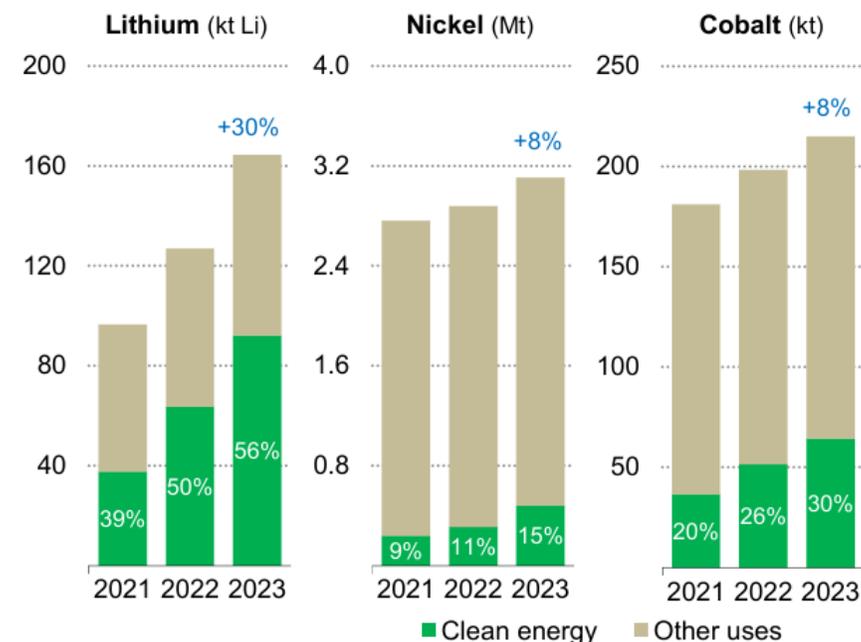
Volatilidade de preços

A demanda por minerais para a transição energética cresceu nos últimos anos e deve continuar subindo. Minerais como lítio, níquel e cobalto mostram volatilidade de preços, recentemente caindo devido ao aumento da oferta global (IEA, 2024).

Preços de minerais críticos, 2021- 2024



Demanda de minerais selecionados, 2021-2023



Fonte: IEA, 2024 (Global Critical Minerals Outlook 2024)

Impactos nos custos da transição energética

O aumento da demanda de minerais imporá pressão sobre a oferta e possíveis impactos na transição não devem ser ignorados. Uma crise de oferta poderia comprometer a transição para tecnologias verdes. É necessário uma busca entre o equilíbrio da oferta e demanda (The Economist, 2024).



Com as previsões de crescimento de demanda global, cobre e níquel apresentam lacunas de oferta previstas de 10-15% até 2030. Outros metais de bateria (cobalto, lítio, grafite) apresentam escassez previstas de 30-45% neste mesmo período.



Ações para promoção do equilíbrio entre oferta e demanda:

- Aumentar a produtividade das fontes existentes: abordagem de curto prazo com limitações de quantidade adicionadas.
- Desenvolvimento de novas minas: pode potencialmente resolver o problema do abastecimento a longo prazo. A McKinsey estima que a conclusão de 382 projetos de minas de cobalto, cobre, lítio e níquel com estudos de pré-viabilidade até 2030 poderia ajudar a equilibrar os mercados.
- Incentivar maior reutilização e reciclagem de materiais, especialmente alumínio, cobre e níquel.
- Abraçar as especificidades das potencialidades locais no processo de transição energética (ex: biocombustíveis x veículos elétricos).

Fonte: The Economist, 2022.

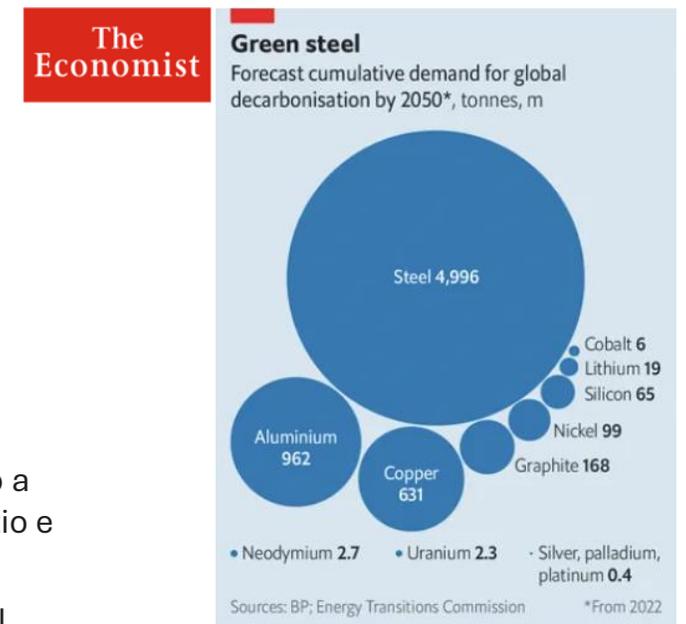


IMAGE: THE ECONOMIST



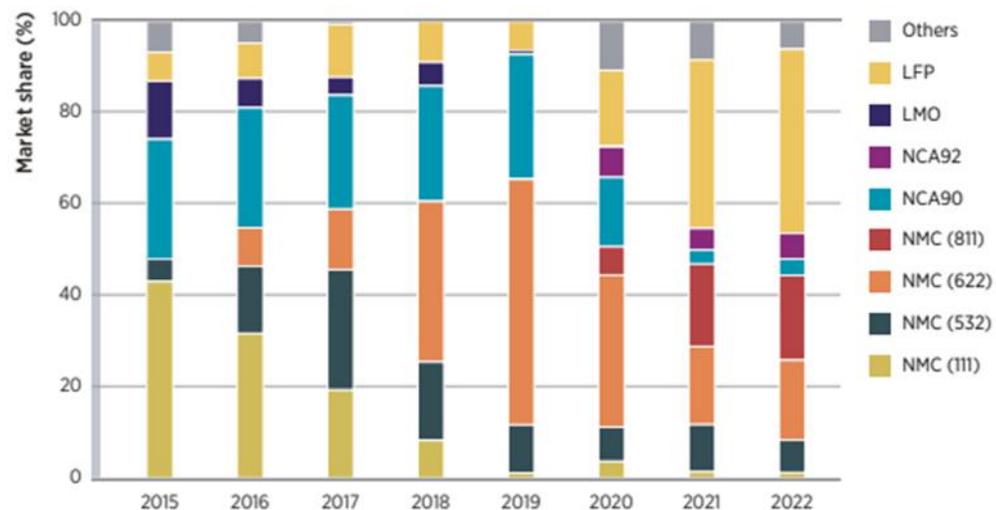
O futuro dos minerais na transição energética



Inovação e incerteza: o futuro dos minerais no cenário tecnológico

A composição química das baterias elétricas para veículos elétricos (VEs) é uma fonte significativa de incerteza na demanda por minerais. As baterias de íons de lítio são dominantes atualmente e alterações neste status pode levar a lacunas de oferta-demanda.

Rápidas mudanças na composição química das baterias entre 2015 a 2022.



Source: (BNEF, 2022b).

Note: The numbers following NCA indicate nickel's proportion in the NCA battery chemistry, whereas the numbers following NMC indicate nickel's proportion in the NMC battery chemistry; for example, NMC (622) means 6 parts of nickel, 2 parts of manganese and 2 parts of cobalt. LFP = lithium iron phosphate; LMO = lithium manganese oxide; NCA = nickel cobalt and aluminium; NMC = nickel manganese and cobalt.

Importância da química do ânodo

O ânodo à base de grafite detém participação de mercado de 70%. Ânodos emergentes, como os 100% à base de silício, metálicos de lítio e de alumínio/alumínio ligado, têm potencial para reduzir ou eliminar a demanda por **grafite**.

Importância da química dos catodos

Para catodos, os produtos químicos mais comumente usados incluem óxidos de **níquel-manganês-cobalto** (NMC), óxidos de **níquel-cobalto-alumínio** (NCA) e **fosfato de ferro-lítio** (LFP). Espera-se que NMC e LFP continuem a ser as baterias mais predominantes nesta década, embora ainda seja uma questão saber qual tecnologia acabará por prevalecer.

Fonte: Irena, 2023.

Riscos e volatilidade de preços na cadeia de minerais

As tecnologias de eólica *onshore* e *offshore* e solar fotovoltaica também podem sofrer inovações trazendo alterações no balanço de oferta e demanda de minerais nas próximas décadas.



Inovação na geração eólica

- Elementos de **terras raras**, como neodímio e disprósio, são utilizados para **ímãs permanentes** em **geradores eólicos e motores elétricos**.
- Os **ímãs permanentes de terras raras** são usados para aplicações eólicas *onshore* e *offshore* e provavelmente se tornarão mais comuns em **turbinas**.
- Há esforços significativos para substituir o neodímio por outros elementos de terras raras ou **para desenvolver ímãs permanentes livres de terras raras (eletroímãs)**. Isto pode alterar as perspectivas de procura de neodímio e disprósio.



Inovação na geração solar fotovoltaica

- A inovação na tecnologia solar fotovoltaica pode alterar a procura de matérias-primas, provocando uma **mudança do silício para o silício cristalino** convencional e para tecnologias de **película fina**.
- Outras tecnologias promissoras incluem **células solares orgânicas**, células de seleneto de cobre, índio e gálio, células solares sensibilizadas por corantes e células solares de pontos quânticos.
- Embora estas tecnologias tenham um potencial significativo, ainda estão em processo de desenvolvimento e comercialização, e o seu desempenho estão em processo de estudo.

Uma matriz de riscos pode ser utilizada pelas partes interessadas e pelos decisores políticos, permitindo que os minerais sejam avaliados conforme ameaças potenciais associadas à sua demanda, considerando nível de impacto e probabilidade destas acontecerem.



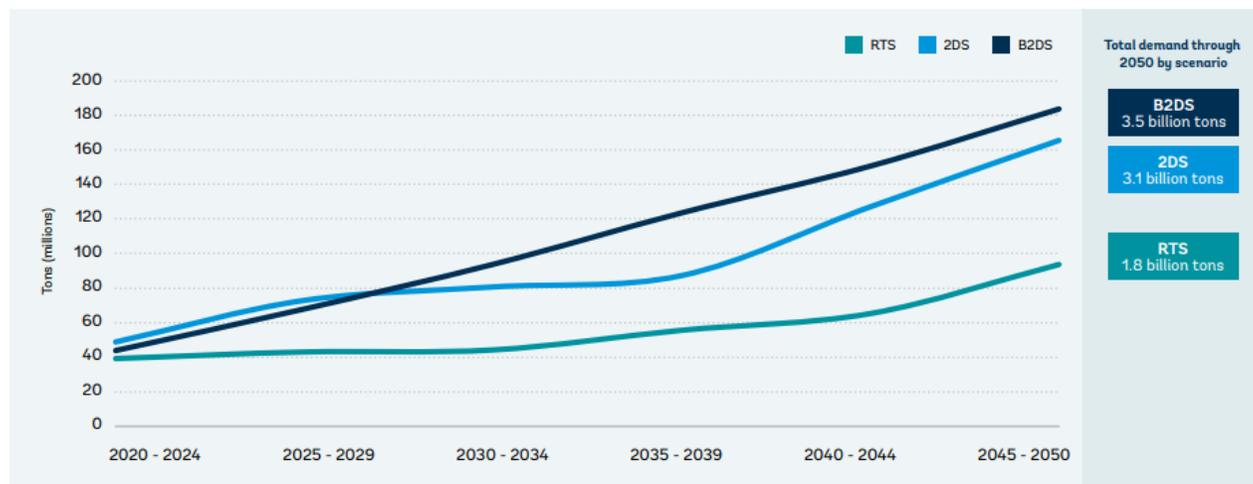
Minerais nos cenários de longo prazo



Crescimento da demanda por minerais associados aos cenários

No cenário de 2 graus (2DS) da Agência Internacional de Energia (IEA), a produção de grafite, lítio e cobalto terá de ser aumentada em mais de 450% até 2050 – em relação aos níveis de 2018 – para satisfazer a procura de tecnologias de armazenamento de energia.

Demanda média anual de minerais até 2050 - IEA Energy Technology Perspective Scenarios



Nota: 2DS = cenário de 2 graus, B2DS = além de 2 graus cenário, RTS = cenário tecnológico de referência. “Minerais” refere-se aos 17 minerais incluídos nesta análise mais o aço, mas excluindo o concreto. O aço foi incluído devido ao tamanho da demanda pela liga proveniente de tecnologias energéticas. A maior demanda mineral no 2DS do que no B2DS antes de 2030 pode ser explicada pela maior geração geral capacidade projetada pela AIE como necessária no 2DS em comparação com o B2DS. Isto é especialmente verdadeiro para a energia solar fotovoltaica no 2DS nesses períodos de tempo. Posteriormente, o platô na demanda mineral no 2DS é causada por uma penetração relativamente mais lenta da geração renovável, seguida por um rápido aumento na capacidade de armazenamento a partir de 2035.

Fonte: World Bank, 2020

Cenário 2DS (IEA)



A energia solar fotovoltaica representará a maior parte da demanda de alumínio de tecnologias energéticas (87%);



A energia solar fotovoltaica e a energia eólica, combinadas, respondem por 74,2% de toda a demanda de cobre;

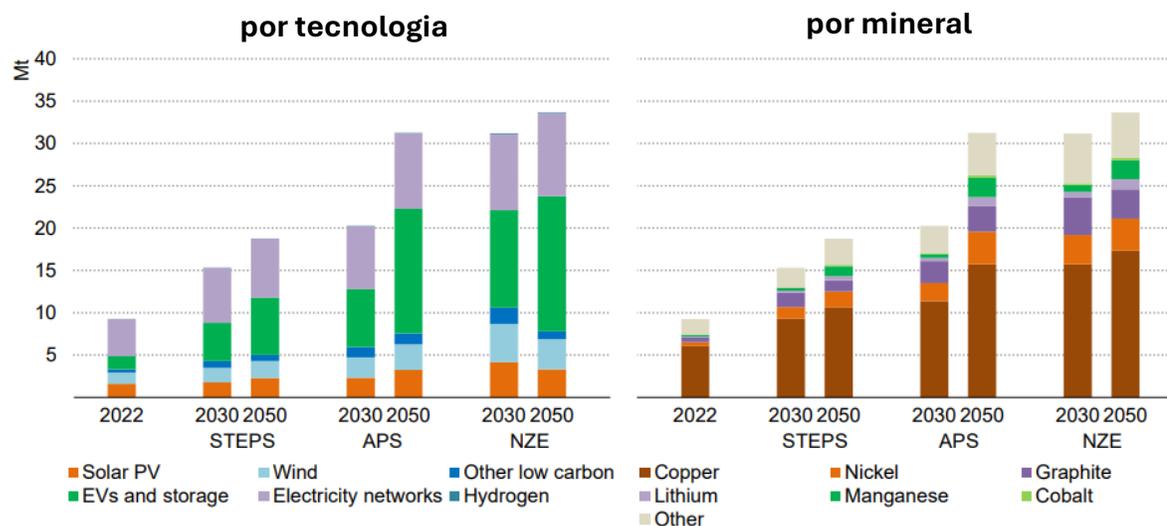


Baterias são responsáveis por toda demanda de grafite e lítio nesta análise (WORLD BANK, 2020).

Cenários de longo prazo para demanda de minerais

A demanda por minerais críticos para energia limpa está prevista para crescer até três vezes e meia durante o período até 2030, à medida que o mundo passa por transições energéticas, de acordo com projeções da IEA (2023).

Minerais requeridos para tecnologias de energia limpa por cenário



IEA. CC BY 4.0.

Notes: STEPS = Stated Policies Scenarios; APS = Announced Pledges Scenario; NZE = Net Zero Emissions by 2050 Scenario. Includes most of the minerals used in various clean energy technologies, but does not include steel and aluminium.

Fonte: Critical Minerals Market Review (IEA, 2023).

Cenários IEA

Stated Policies Scenario (STEPS)

Delimita uma trajetória que reflete as configurações de políticas atuais, com base em uma avaliação detalhada das políticas efetivamente em vigor mundialmente.

Announced Pledges Scenario (APS)

Assume que as metas de emissões de longo prazo e acesso à energia serão atingidas pontual e integralmente, mesmo que políticas necessárias ainda não tenham sido implementadas.

Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE)

Apresenta um caminho para que o setor global de energia alcance emissões líquidas zero de CO₂ até 2050.



Minerais na Transição energética brasileira



Plano Decenal de Energia 2034

O **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE)** projeta a expansão energética do Brasil para os próximos 10 anos, levando em conta a sustentabilidade e a otimização de custos. Ele utiliza cenários para lidar com incertezas e orientar políticas públicas e investimentos. Para **estimar a quantidade de minerais** necessários na transição energética brasileira, foram **utilizadas as projeções do PDE**.

Geração centralizada de energia elétrica



Transmissão de energia elétrica



Eletromobilidade: transporte rodoviário

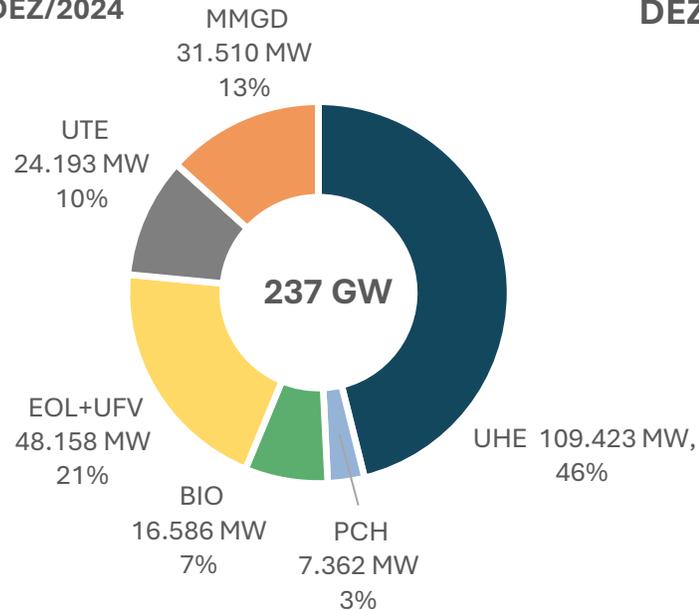


Matriz elétrica brasileira no PDE 2034

A **renovabilidade** da geração da matriz elétrica é de aproximadamente **90%** em 2024 e se mantém até 2034, com uma maior participação de fontes eólica e solar.

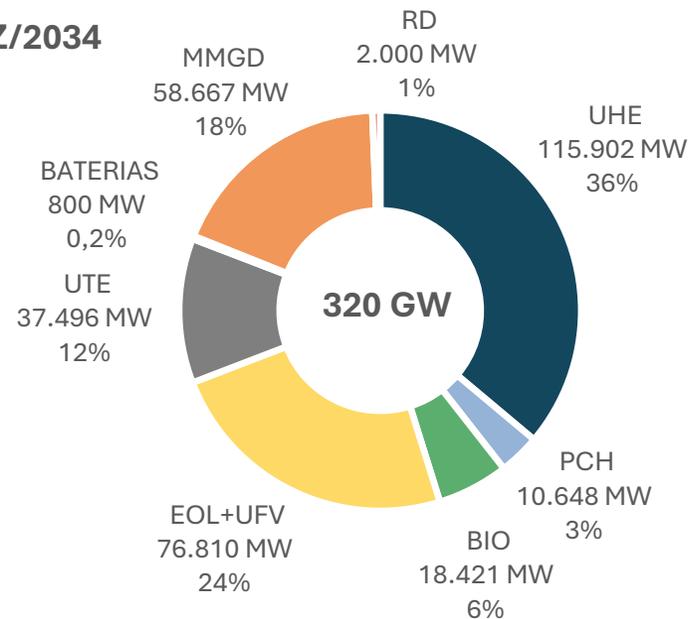
Expansão da Capacidade Instalada na Matriz Elétrica Brasileira

DEZ/2024



MMGD: Micro e Minigeração Distribuída
UTE: Usina Termelétrica
EOL: Energia Eólica
UFV: Usina Fotovoltaica (Solar)

DEZ/2034



UHE: Usina Hidrelétrica de Grande Porte
RD: Reversível de Despacho
BIO: Biomassa
PCH: Pequena Central Hidrelétrica

Expansão de Energia

A expansão proposta até 2034 adiciona cerca de **84 GW**, com **56 GW** da capacidade vinda de energia **solar e eólica**



Armazenamento

Pela primeira vez a inclusão de armazenamento em **baterias (800 MW)**, aproveitando a energia renovável para momentos de alta demanda.

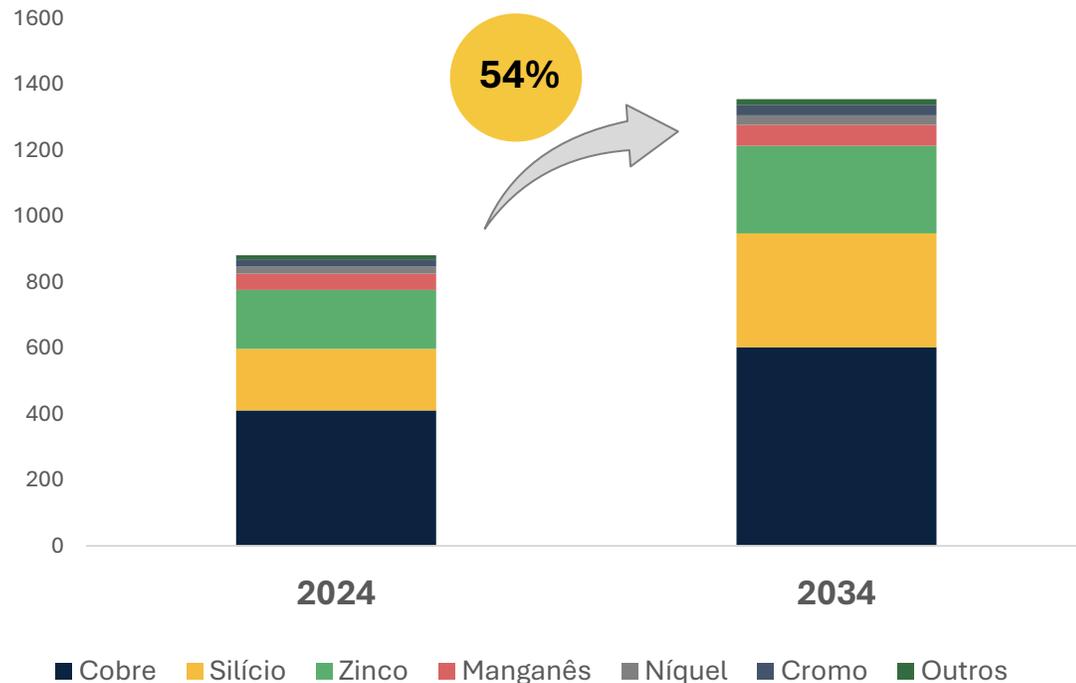


Fonte: PDE 2034 (EPE).

Composição mineral da matriz elétrica

A capacidade instalada aumenta **35%** de 2024 para 2034.
Já o aumento de uso estimado de minerais é **54%** nesse período.

Composição Mineral da Matriz Elétrica (Mil Toneladas)



Aumento no uso de minerais: A quantidade de mineral na matriz elétrica crescerá 54% entre 2024 e 2034, enquanto a capacidade instalada da matriz elétrica aumentará 35%, indicando que a transição para energias renováveis (especialmente solar e eólica) exige mais recursos minerais do que as fontes tradicionais.

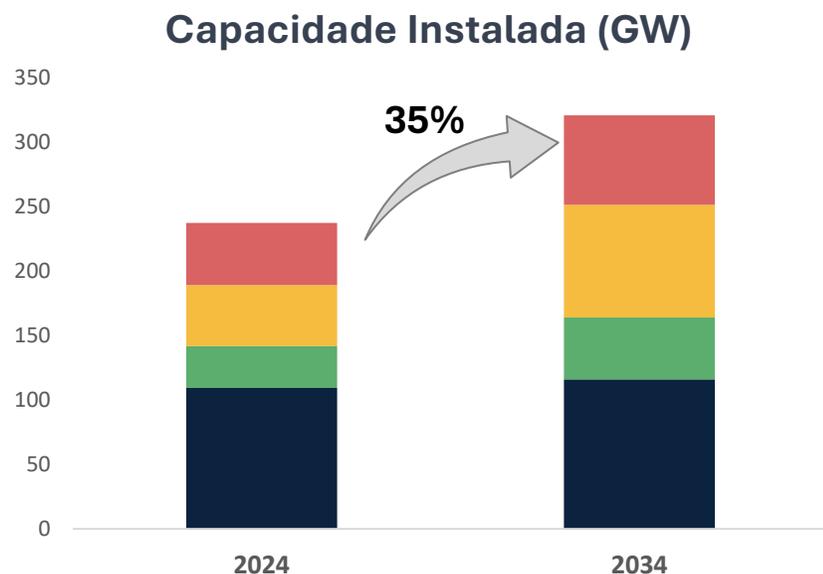
Principais minerais em uso: O cobre será o mineral mais utilizado tanto em 2024 quanto em 2034, por ser essencial para energias renováveis (solar, eólica, biomassa) e para fontes convencionais (como carvão e gás natural).

Silício em ascensão: O silício, segundo mineral mais utilizado em 2024 e 2034 devido ao uso de energia solar.

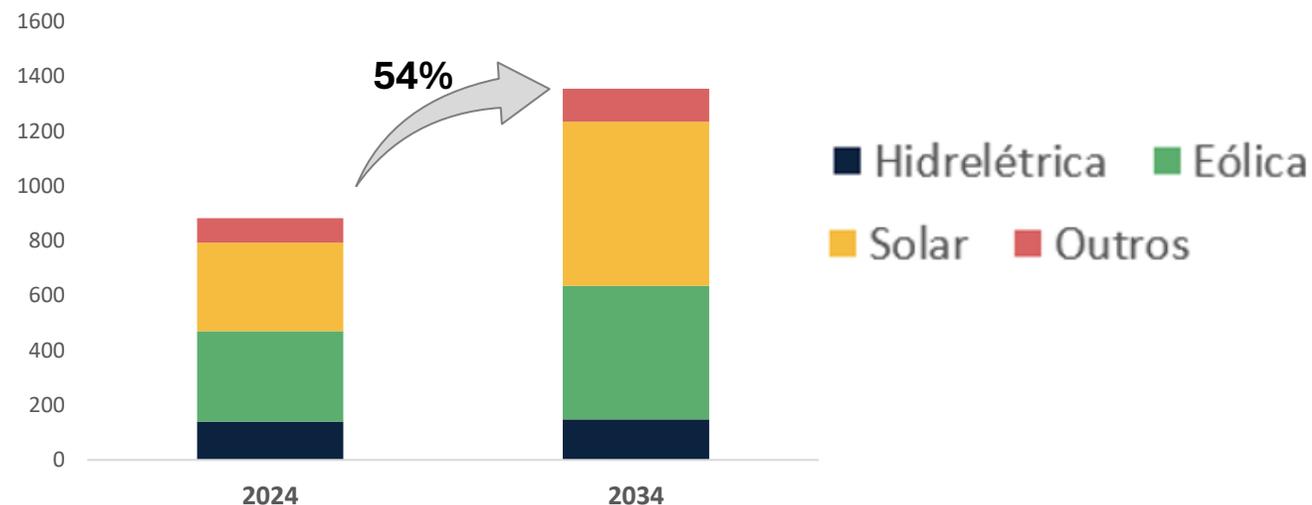
Zinco na energia eólica: Em 2024, o zinco é o terceiro mineral mais demandado, devido a sua utilização na energia eólica.

Os minerais considerados para a contabilização incluem: cobre, níquel, manganês, zinco, cromo, titânio, molibdênio, silício, terras raras e cobalto.

Tecnologias da matriz elétrica com maior demanda de minerais



Composição Mineral da Matriz Elétrica (Mil Toneladas)



Os minerais considerados para a contabilização incluem: cobre, níquel, manganês, zinco, cromo, titânio, molibdênio, silício, terras raras e cobalto.

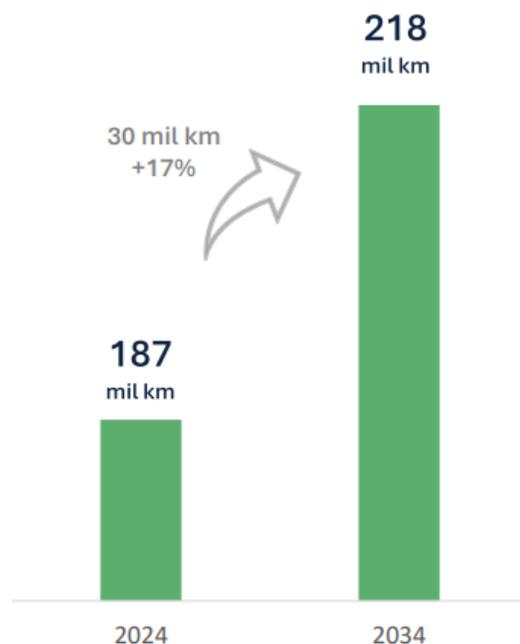
Tecnologia principal em consumo de minerais: A tecnologia eólica é a maior consumidora de minerais, representando aproximadamente 40% do uso total de minerais, tanto em 2024 quanto em 2034.

Crescimento do uso de minerais na energia solar: A energia solar, tanto a centralizada quanto a distribuída, foi a segunda maior consumidora de minerais em 2024, correspondendo a cerca de 30% do consumo total. A projeção é que ela se torne a maior demandante de minerais até 2034, alcançando 41%, impulsionada pela expansão da capacidade instalada.

Hidrelétrica e consumo de minerais: apesar de representar cerca de 50% da capacidade instalada em 2024, a hidrelétrica contribui com apenas 18% do uso total de minerais nesse ano em 2024, e diminui para 12% em 2034.

Linhas de transmissão no PDE 2034

De 2024 a 2034, a extensão das **linhas de transmissão aumentará em 30 mil km**, representando um crescimento de 17%, passando de 187 mil km para 218 mil km.



Fonte: PDE 2034 (EPE).

Protagonismo das Renováveis: O crescimento de energia eólica e solar no ACL exige novas linhas de transmissão para integrar essas fontes de forma eficiente, superando a imprevisibilidade na geração.

Data Centers: A expansão de data centers, impulsionada pela IA, requer conexões robustas. A carga deve atingir 2,5 GW até 2037, demandando reforços em SP, RS e CE.

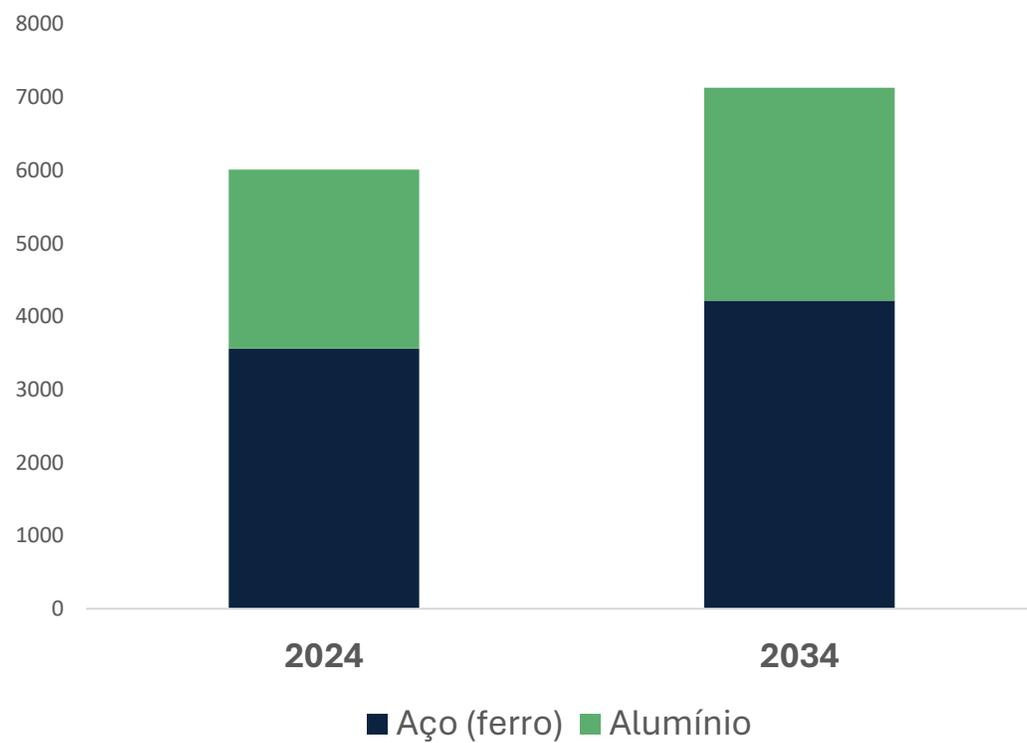
Resiliência Climática: Estudos apontam para novas linhas de 500 kV e estratégias de resiliência, aumentando a capacidade de recepção de 440 MW para 1.500 MW.

Hidrogênio no Nordeste: A EPE estuda integrar hidrogênio à rede em 2024, com desafios na definição de carga e localização, podendo requerer nova infraestrutura.

Transmissão e minerais estratégicos

O aumento nas linhas de transmissão é de 17%, enquanto o crescimento estimado de uso de minerais é de 19%. Mantém-se uma relação quase proporcional, pois não há mudança na composição.

Minerais na transmissão elétrica – Mil Toneladas



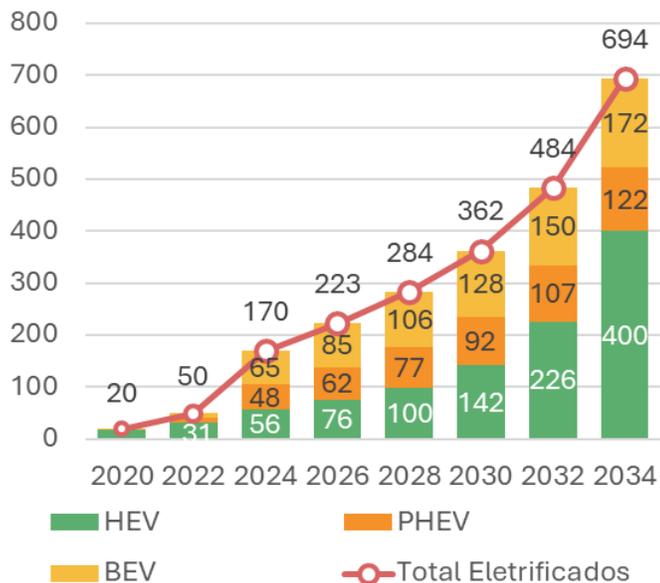
Demanda de aço e alumínio: Será necessário 1 milhão de toneladas de alumínio e aço para construção de linhas e estruturas de transmissão até 2034.

Principais componentes das linhas de transmissão: Alumínio e aço (sendo o ferro o principal componente do aço) são os materiais predominantes nas torres e nas linhas de transmissão.

Importância do alumínio e ferro na transição energética: Embora o alumínio e o ferro desempenhem papéis cruciais na transição energética, especialmente na transmissão e distribuição de energia, eles frequentemente não são classificados como minerais críticos ou estratégicos em cenários globais.

Eletrificação veicular no PDE 2034

Licenciamento de veículos leves híbridos e elétricos (mil veículos; % total)



Fonte: PDE 2034 (EPE).

Eletrificação no Brasil: A relevância tem aumentado, impulsionada por incentivos estaduais e municipais, como isenção de rodízio em São Paulo e redução de tributos.

Barreiras de Entrada: Inicialmente, a demanda por veículos eletrificados deve se concentrar em compradores do segmento premium.

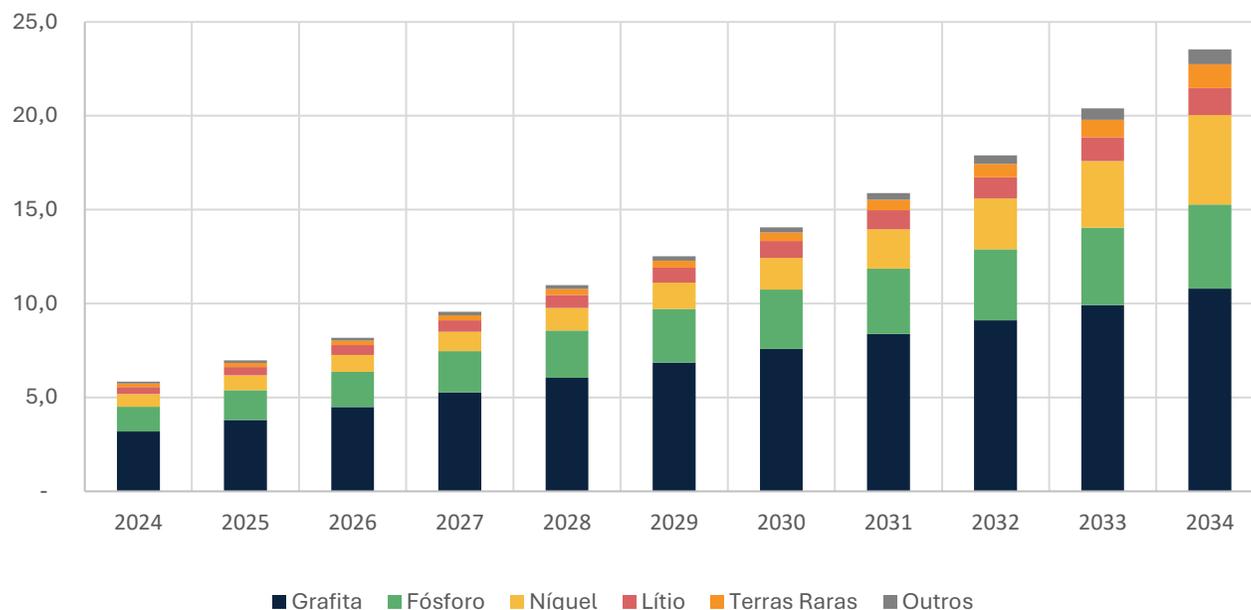
Projeções de Crescimento: Espera-se uma penetração progressiva de veículos eletrificados, com a frota de HEV (híbridos) e BEV (elétricos) ultrapassando 1 milhão até 2030, destacando-se a alta participação de híbridos.

Projeção de crescimento: Licenciamento de veículos eletrificados aumenta de **7%** em **2024** para **17%** em **2034**

Eletrificação Veicular no PDE 2034

Evolução da quantidade de minerais usadas nas baterias de carros eletrificados, conforme projeção de entrada de veículos dos mesmos até 2034.

Demanda de Minerais nas Baterias Veicular (Mil Toneladas)



Aumento expressivo na demanda: A grafita terá uma demanda acumulada de 61,3 mil toneladas até 2034, destacando-se como o mineral mais utilizado na eletrificação.

Principais minerais demandados: Grafita, ferro, fósforo e níquel são os minerais com maior demanda projetada, essenciais para as tecnologias de baterias como LFP e NMC.

Os **veículos a biocombustíveis** não foram adicionados à estimativa, mas importante destacar que não geram demandas adicionais por minerais estratégicos em relação a veículos movidos por combustíveis fósseis.

*Outros: Manganês, Cobalto e Zinco

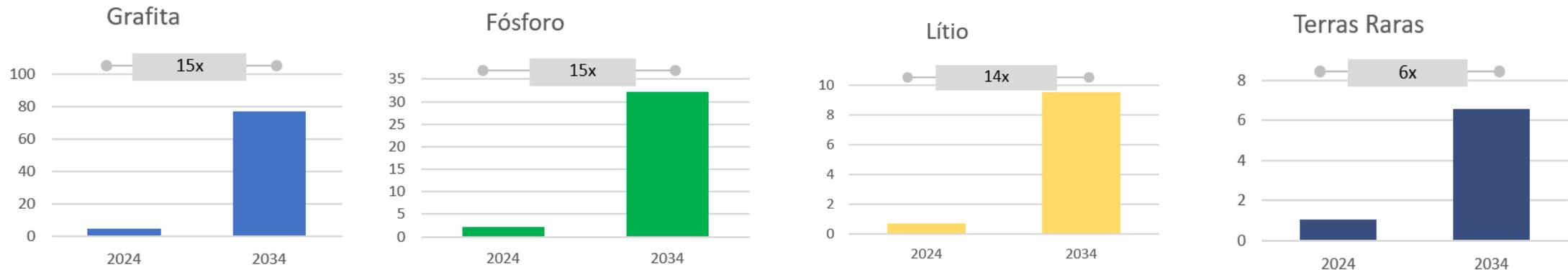
A demanda anual de minerais para baterias aumenta em 4x entre 2024 e 2034, passando aproximadamente de 6 mil para 24 mil toneladas em 10 anos.

Minerais em expansão

A demanda por minerais críticos vai crescer significativamente até 2034, impulsionada pela **expansão da matriz elétrica e pela eletrificação de veículos**. Os valores refletem o total acumulado em kton e o aumento proporcional de minerais demandados para a matriz elétrica e baterias veiculares até 2024 e 2034.

Os minerais com os maiores aumentos proporcionais são **grafita, fósforo, lítio e terras raras**, e esse aumento é principalmente devido à eletrificação da frota e à sua utilização nas baterias.

Minerais Utilizados em Tecnologias de Energia (Mil toneladas)





Minerais estratégicos e seus desafios e oportunidades no Brasil



Minerais estratégicos no Brasil: Reserva e produção

Mineral	Reserva - BR (t)	Reserva Mundial (t)	Participação -BR	Produção - BR (t)	Mundo (t)	Participação - BR
Grafita	74.000.000	280.000.000	26%	73000	1.600.000	5%
Terras Raras	21.000.000	110.000.000	19%	80	350.000	0%
Manganês	270.000.000	1.900.000.000	14%	620000	20.000.000	3%
Níquel	16.000.000	130.000.000	12%	89000	3.600.000	3%
Alumínio (bauxita)	2.700.000.000	31.000.000.000	9%	31000	400.000	8%
Lítio	1.370.000	28.000.000	5%	4900	180.000	3%
Cobalto	70.000	8.300.000	1%	0	230.000	0%
Cobre	11.200.000*	1.000.000.000	1%	326600	22.000.000	2%
Vanádio	120.000	26.000.000	1%	6400	100.000	6%
Silício (quartzo)	N/A	N/A	-	390000	9.000.000	4%
Nióbio	16.000.000	17.000.000	94%	75000	83.000	90%

Reservas e produção: Brasil tem reservas e já produz de minerais críticos para a economia global, sendo líder mundial em nióbio.

Potencial mineral: Extensão territorial, com áreas ainda sem mapeamento geológico, e diversidade geológica dão ao Brasil grande potencial para descobertas de minerais estratégicos

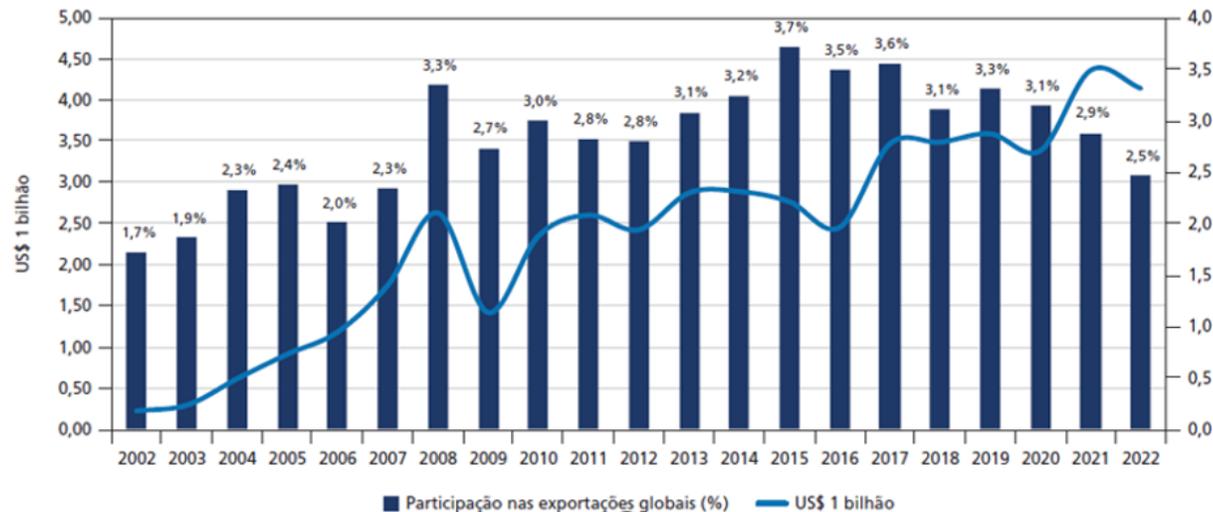
Descompasso entre reservas e produção: Há distanciamento entre reservas e produção global em minerais como grafita, terras raras, manganês e níquel, evidenciando potencial de crescimento na produção desses minérios.

Fonte: Elaborado a partir do PDE 2034 (EPE).

Minerais estratégicos no Brasil: participação comercial

- Setor mineral brasileiro contribui com 4% do PIB*;
- A indústria da mineração emite 0,055% das emissões de carbono equivalente (12,77MtCO₂)

Exportações brasileiras de minerais críticos da transição energética (2002-2022)



Brasil é importante exportador de ferro, manganês, tântalo, nióbio e bauxita;

Brasil é grande exportador de minerais brutos (como bauxita e alumina) e importador de produtos processados (como folhas de alumínio e derivados de lítio).

Fonte: IPEA, 2024 O posicionamento do Brasil no comércio internacional de minerais críticos para a transição energética.

*Além do PIB, a mineração impulsiona setores como comércio e serviços, com destaque para o efeito multiplicador do minério de ferro e metais não ferrosos, segundo estudo do IPEA e MME (2023)

Apesar do aumento expressivo nas exportações brasileiras de minerais críticos entre 2002 e 2022, a participação do Brasil no mercado global caiu, devido ao avanço de outros países.

Minerais na transição energética: oportunidades para o Brasil

Powershoring



Atrair investimentos em cadeias industriais que aproveitam a matriz energética de baixa emissão do Brasil, focando em produtos "verdes" e ampliando a industrialização no longo prazo;

Potencial de produção e qualidade das reservas



Vasto território e diversidade geológica, possui grande potencial para novas descobertas de reservas de minerais;

Friendshoring



O aumento de restrições comerciais em minerais estratégicos faz com que os países busquem alternativas de fornecimento e parcerias com o Brasil, gerando oportunidades de investimentos e acordos estratégicos.

Arcabouço legal ambiental



A legislação ambiental moderna do Brasil favorece a mineração sustentável, posicionando o país como líder global e atraindo investimentos para práticas responsáveis no setor mineral.

Minerais na transição energética: **desafios para o Brasil**

Disponibilidade de recursos para investimento



A mineração de minerais críticos exige altos investimentos iniciais, demandando tecnologias avançadas e infraestrutura robusta, o que representa um desafio significativo para o Brasil;

Cadeia de processamento



Apesar dos vastos recursos naturais, o Brasil enfrenta dificuldades em avançar no processamento de minerais críticos, devido à maturidade tecnológica consolidada em outros países e o domínio global na cadeia de valor;

Desafios socioambientais



A exploração mineral no Brasil, apesar da legislação ambiental rigorosa, gera impactos significativos, exigindo uma gestão sustentável para minimizar danos. Além disso, é necessário investir em pesquisa para desenvolver materiais alternativos e promover a reciclagem de minerais para reduzir a pressão sobre os recursos escassos.



Siga a EPE nas redes sociais e mídias digitais:



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

