



Energy Technology Perspectives 2024

Sumário executivo e destaques

iea

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 31 member countries, 13 association countries and beyond.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Lithuania
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Republic of Türkiye
United Kingdom
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

IEA association countries:

Argentina
Brazil
China
Egypt
India
Indonesia
Kenya
Morocco
Senegal
Singapore
South Africa
Thailand
Ukraine

Sumário executivo

Três áreas estratégicas de política pública – energia, indústria e comércio – estão cada vez mais interligadas. Surgem tensões e dilemas em cada uma dessas áreas à medida que os governos buscam conciliar seus compromissos com mercados funcionais e transições para energia limpa rentáveis, por um lado, com a necessidade de estabelecer cadeias de suprimento de tecnologia limpa seguras e resilientes, por outro lado. Isso envolve decisões difíceis sobre quais setores apoiar, colaboração com parceiros comerciais e como priorizar esforços de inovação. Esta edição de 2024 do *Energy Technology Perspectives (ETP, Perspectivas das tecnologias de energia)* – o “guia mundial de tecnologia de energia limpa” – foi elaborada para apoiar tomadas de decisões nessas áreas. O *ETP-2024* é a primeira análise desse tipo a explorar o futuro da fabricação e do comércio de tecnologias de energia limpa, com dados setoriais minuciosos em todas as cadeias de suprimento, criado em um conjunto de dados ascendente exclusivo e uma avaliação quantitativa das estratégias industriais dos países.

A manufatura e o comércio são fundamentais para a nova economia de energia limpa

As oportunidades econômicas consideráveis associadas à fabricação de tecnologias de energia limpa são uma prioridade máxima para os governos e a indústria. O tamanho do mercado global para seis das principais tecnologias de energia limpa – energia solar fotovoltaica, eólica, veículos elétricos (VEs), baterias, eletrolisadores e bombas de calor – cresceu quase quatro vezes desde 2015, ultrapassando USD 700 bilhões em 2023, o que representa aproximadamente metade do valor de todo o gás natural produzido naquele ano no mundo inteiro. O crescimento foi impulsionado pelo aumento da implantação de tecnologias limpas, sobretudo para VEs, energia solar fotovoltaica e eólica. Com as configurações das políticas públicas atuais, o mercado das principais tecnologias limpas deverá quase triplicar até 2035, chegando a mais de USD 2 trilhões. Isso está próximo ao valor médio do mercado global de petróleo bruto nos últimos anos.

O comércio internacional é essencial para o bom funcionamento da economia global – incluindo o sistema energético. O comércio internacional de bens – que inclui todo o tipo de suprimento vital, desde alimentos e roupas até smartphones e semicondutores – totalizou cerca de USD 24 trilhões em 2023 em termos de valor. Os combustíveis fósseis foram responsáveis por cerca de 10% deste valor, enquanto os materiais a granel e os produtos químicos – incluindo aço, alumínio e amônia – foram responsáveis por quase 20%. O comércio de tecnologia de energia limpa

representa hoje uma parcela comparativamente pequena em relação a essas indústrias estabelecidas, em torno de 1%, mas está rapidamente crescendo.

Com cerca de USD 200 bilhões, o valor do comércio de tecnologias limpas representa quase 30% do seu valor de mercado global. O maior elemento é o comércio de carros elétricos, que dobrou desde 2020, atingindo aproximadamente um quinto do comércio de todos os carros em 2023 em termos de valor. A energia solar fotovoltaica é a segunda tecnologia mais negociada em termos de valor. Com as configurações das políticas públicas atuais, o comércio de tecnologia limpa total está prestes a atingir USD 575 bilhões até 2035, ou cerca de 50% a mais do que o valor do comércio global de gás natural nos dias de hoje.

Os investimentos em manufatura estão aumentando em resposta à procura crescente por tecnologias limpas

Uma grande onda de investimentos em fabricação de tecnologias limpas está em andamento, com a construção de diversas novas fábricas ao redor do mundo. O investimento global na fabricação de tecnologia limpa aumentou 50% em 2023, chegando a USD 235 bilhões. Isso equivale a quase 10% do crescimento do investimento em toda a economia mundial e cerca de 3% do crescimento do PIB global. Quatro quintos do investimento em manufatura de tecnologia limpa em 2023 foram destinados a fabricação de energia solar fotovoltaica e baterias, com as usinas de veículos elétricos respondendo por mais 15%. A quantidade de capacidade de fabricação que está sendo adicionada tem superado com folga os níveis atuais de implantação. Apesar de alguns cancelamentos e adiamentos recentes de projetos de fabricação de baterias e energia solar fotovoltaica, o investimento em instalações de fabricação de tecnologia limpa deve permanecer próximo aos seus níveis recordes recentes, de aproximadamente USD 200 bilhões em 2024.

A competitividade de custos é um determinante fundamental do investimento em manufatura, mas não é o único. Atualmente, a China é o local mais barato para a fabricação de todas as principais tecnologias de energia limpa consideradas neste relatório, sem levar em consideração o apoio financeiro explícito dos governos. Em comparação com a China, a produção de módulos solares fotovoltaicos, turbinas eólicas e tecnologias de baterias custa, em média, até 40% mais nos Estados Unidos, até 45% mais na União Europeia e até 25% mais na Índia. A competitividade de custos é um fator essencial que explica o papel descomunal da China na fabricação de tecnologia limpa hoje: ela representa entre 40% e 98% da capacidade global de fabricação das principais tecnologias e componentes limpos que examinamos, dependendo do caso. Em relação a outros países, a China tem maiores economias de escala, um mercado interno maior e empresas e instalações altamente integradas ao longo da cadeia de suprimento dessas tecnologias. Uma pesquisa da AIE com mais de 50 grandes fabricantes de cadeias de suprimento de tecnologias limpas e materiais revela outros fatores, além dos custos, que influenciam as decisões de

investimento. Isso inclui várias formas de políticas de apoio, acesso a mercados, habilidades e conhecimento na base industrial e infraestrutura.

O comércio pode ajudar os países a explorar seus pontos fortes econômicos

A mudança do comércio relacionado à energia para as tecnologias limpas faz parte de uma transformação mais ampla no setor energético, com implicações de longo prazo para os volumes de comércio. Enquanto os combustíveis fósseis oferecem fluxos contínuos no comércio de energia, o comércio de tecnologias limpas resulta em um estoque de longa duração de equipamentos de geração e transformação de energia. Por exemplo, com base nas configurações das políticas públicas atuais, as importações líquidas de combustíveis fósseis e tecnologias de energia limpa da União Europeia atingirão cerca de USD 400 bilhões de dólares em 2035. No entanto, o custo total de importações do bloco se direciona para uma participação maior das tecnologias de energia limpa, passando de menos de 10% em 2023 para 35% em 2035, em detrimento dos combustíveis fósseis. Isso tem impactos positivos na resiliência energética: uma única viagem de um grande navio de contêineres carregado com módulos solares fotovoltaicos pode fornecer a capacidade de gerar eletricidade equivalente à quantidade gerada pelo gás natural transportado por mais de 50 grandes navios-tanque de GNL ou pelo carvão a bordo de 100 grandes embarcações.

As estratégias industriais na Europa e nos Estados Unidos devem modificar as perspectivas para a manufatura e o comércio

Na União Europeia, o futuro da fabricação de tecnologia limpa será influenciado pela capacidade de alcançar as metas da Lei da Indústria *Net Zero* (*Net Zero Industry Act*, NZIA). Embora seja possível atingir as metas da NZIA para algumas tecnologias com facilidade, como as etapas finais da fabricação de componentes e turbinas eólicas e de bombas de calor, o desafio enfrentado pelo setor automotivo é muito maior. Mais de 40% dos veículos com motor de combustão interna (MCI) produzidos na União Europeia atualmente são destinados à exportação e enfrentam a concorrência de fabricantes de VEs na China, assim como VEs produzidos internamente para o mercado da UE. Para que o setor de veículos da UE possa competir no crescente mercado de VEs, a redução dos custos de fabricação de carros elétricos e a integração total das cadeias de suprimento, incluindo baterias, serão essenciais. Em 2023, as importações da China representaram cerca de 20% das vendas de VEs na União Europeia. Com as configurações das políticas públicas atuais, essa participação quase dobra para 40% até 2035, apesar das taxas de importação recentemente anunciadas, que entrarão em vigor por 5 anos. Se as metas

da NZIA forem alcançadas, uma cadeia de suprimento de VEs e baterias totalmente integrada ajudaria a reduzir a participação para 20%.

Nos Estados Unidos, a Lei de Redução da Inflação (*Inflation Reduction Act*) e a Lei de Infraestrutura Bipartidária (*Bipartisan Infrastructure Law*) estão dando frutos. Elas já mobilizaram USD 230 bilhões em investimentos na fabricação de tecnologia limpa até 2030. Com base nas configurações das políticas públicas atuais – e impulsionadas pelos incentivos oferecidos por essas leis — a demanda dos EUA por módulos solares fotovoltaicos e polissilício poderia ser atendida quase totalmente pela produção doméstica até 2035, embora parte da demanda por células e *wafers* ainda seja suprida por importações. As relações comerciais existentes também oferecem uma base sólida: o México está bem posicionado para se tornar um centro de fabricação de VEs para o mercado norte-americano (assim como já é para os carros com MCI), com o Sudeste Asiático, a Coreia e o Japão sendo outros possíveis fornecedores importantes.

A China continua sendo a potência industrial mundial e a Índia faz grandes progressos, tornando-se um exportador líquido

Atualmente, a participação da China na produção global de todas as seis principais tecnologias limpas em termos de valor é de aproximadamente 70%. A maior instalação de produção de energia solar fotovoltaica da China, atualmente em construção, localizada na província de Shanxi, poderia, sozinha, produzir módulos suficientes para atender quase toda a demanda atual da UE. Apesar da implementação contínua de estratégias industriais em outros países, o valor das exportações de tecnologia limpa da China está prestes a ultrapassar USD 340 bilhões em 2035, com base nas configurações das políticas públicas atuais. Em termos gerais, isso equivale à receita projetada de exportação de petróleo combinada da Arábia Saudita e dos Emirados Árabes Unidos em 2024. Atualmente, o custo de importação de combustíveis fósseis da China é o mais alto do mundo. Com as configurações das políticas públicas atuais, o custo líquido de importações — considerando as importações de combustíveis fósseis e as exportações de tecnologias limpas — será reduzido em cerca de 70% até 2035. Se os mercados de tecnologias limpas crescerem mais rápido do que o previsto nas configurações das políticas públicas atuais, as exportações de tecnologias limpas da China, em termos de valor, poderiam compensar totalmente suas importações de combustíveis fósseis antes de 2035.

A Índia deixará de ser importadora líquida de tecnologias limpas para se tornar uma exportadora líquida em 2035, se a transição para energia limpa acelerar. Sob as configurações das políticas públicas atuais, a Índia continua sendo uma importadora líquida de tecnologias limpas em termos de valor em 2035, mas com um aumento gradual na produção e exportação de módulos solares fotovoltaicos, VEs e baterias incentivadas pelo Programa de Incentivos Ligados à

Produção. Em contrapartida, se a transição para as energias limpas avançar com mais rapidamente na Índia e em todo o mundo, as exportações líquidas de tecnologias de energias limpas do país poderão crescer rapidamente, chegando a USD 30 bilhões em 2035, depois de suprir uma grande parte da própria demanda crescente. Isso compensa cerca de 20% do custo restante da importação de combustíveis fósseis equivalente a USD 170 bilhões, reduzindo o déficit comercial relacionado à energia da Índia para cerca de USD 140 bilhões.

A porta da nova economia de energia limpa ainda está aberta para os mercados emergentes

Economias emergentes e em desenvolvimento na América Latina, na África e no Sudeste Asiático respondem por menos de 5% do valor gerado pela produção de tecnologias limpas atualmente. Uma transição justa e equitativa exige que mais regiões possam colher os benefícios econômicos do crescimento das cadeias de suprimento de tecnologias de energia limpa e moderna. Uma transição mais rápida para a energia limpa e um mercado geral maior para tecnologias de energia limpa serão fundamentais para isso. Outros fatores que impedem o investimento em mercados emergentes nos dias de hoje também precisam ser superados, incluindo riscos políticos e cambiais, falta de mão de obra qualificada e infraestrutura precária. Mas as oportunidades existem: além da mineração e do processamento de minerais essenciais, países da África, da América Latina e do Sudeste Asiático têm perspectivas de aumentar suas vantagens competitivas e subir na cadeia de valor. Coletamos dados de cada país em mais de 60 indicadores, avaliando o ambiente de negócios, a infraestrutura de energia e transporte (como redes elétricas, gasodutos e portos), a disponibilidade de recursos e o tamanho do mercado interno, com o objetivo de identificar oportunidades em cada país.

O Sudeste Asiático já é um ator importante nas cadeias de suprimento de tecnologia limpa, e vários países podem subir um degrau na cadeia de valor. A região poderá estar entre os lugares mais baratos para produzir polissilício e *wafers* para módulos solares fotovoltaicos até 2035. Vários países podem aproveitar os pontos fortes existentes na fabricação de equipamentos eletrônicos e elétricos, os preços competitivos de mão de obra e energia e as políticas governamentais que incentivem indústrias voltadas para a exportação. Se a região puder explorar totalmente essas vantagens competitivas e as ações políticas em todo o mundo forem compatíveis com o alcance das metas globais de emissões líquidas zero até 2050, o Sudeste Asiático poderá produzir mais de 8 milhões de VEs até 2035 (em comparação com cerca de 40 000 atualmente), dos quais quase metade seriam exportados.

A América Latina, especialmente o Brasil, tem condições iniciais favoráveis para a fabricação de turbinas eólicas, mas investimentos significativos em infraestrutura e logística são necessários para capitalizar esse potencial. Atualmente, o Brasil produz mais de 5% das pás de turbinas eólicas do mundo. Se o

país for capaz de aproveitar suas condições favoráveis, em um cenário compatível com emissões líquidas zero até 2050, as exportações desses componentes aumentarão seis vezes até 2035 em comparação com os níveis atuais, supondo que os investimentos de longo prazo em infraestrutura portuária serão bem-sucedidos. O Brasil, assim como outros países da América Latina, é dotado de recursos abundantes de energia renovável, o que constitui uma boa base para a exportação de amônia, ferro e aço com emissões quase zero para mercados onde esses produtos são mais caros de produzir, como a Europa e o Japão.

O Norte da África pode se tornar um centro de fabricação de VE. Investimentos já estão em andamento e, se a região for capaz de atingir seu potencial em conformidade com a meta global de emissões líquidas zero até 2050, o Norte da África exportará em 2035 quase metade dos 3,7 milhões de VEs que produzirá até lá, principalmente para a União Europeia. Isso se basearia no *pipeline* de projetos existente em países como o Marrocos. Em outras partes da África, os países têm o potencial de alavancar recursos de minério de ferro e energia renovável, por exemplo, para avançar na cadeia de valor e produzir ferro com hidrogênio eletrolítico. Essas exportações para a Europa e o Japão podem valer mais de quatro vezes o valor da mesma tonelagem de exportações de minério de ferro considerando os preços atuais, caso o mundo siga as metas climáticas compatíveis com as metas de emissões líquidas zero até 2050, e caso as barreiras ao investimento nos países africanos sejam superadas.

A concentração da cadeia de suprimento pressiona as rotas de transporte marítimo mais movimentadas

O tráfego em alguns dos pontos de estrangulamento marítimo mais movimentados aumenta, apesar da desaceleração no crescimento da atividade de transporte marítimo. Com base nas configurações das políticas públicas atuais, o comércio marítimo global de bens aumentará 1% ao ano, em peso, na próxima década – um crescimento significativamente mais lento do que nas duas últimas décadas, devido à desaceleração da demanda por combustíveis fósseis e aço. No entanto, o tráfego em alguns pontos de estrangulamento se intensifica. Quase 50% de todo o comércio marítimo de tecnologias limpas passa hoje pelo Estreito de Malaca. Com base nas configurações das políticas públicas atuais, as remessas de tecnologia limpa por Malaca devem aumentar substancialmente, embora sua participação no comércio marítimo total permaneça muito pequena. Essa dependência dos pontos de estrangulamento marítimos representa riscos para a resiliência da cadeia de suprimento, especialmente porque a carga média de tecnologias limpas é mais de dez vezes o valor da carga média de combustíveis fósseis por tonelada.

Estratégias industriais bem elaboradas serão cruciais para que as transições para energias limpas continuem se intensificando

As tensões e os dilemas entre os objetivos das políticas energéticas e industriais significam que acertar nas medidas de política comercial é essencial para as transições para a energia limpa. Em alguns casos, os dividendos de energia limpa do comércio seriam maiores se as barreiras ao comércio fossem menores. Atualmente, as tarifas sobre sistemas e componentes de energia renovável, por exemplo, são mais do que o dobro daquelas aplicadas aos combustíveis fósseis, em média. Medidas comerciais – incluindo tarifárias e não tarifárias – já aumentam o custo das tecnologias limpas. Por exemplo, uma tarifa de 100% sobre módulos solares fotovoltaicos hoje anularia a redução nos custos de tecnologias constatada nos últimos 5 anos. O impacto indireto nos custos de geração de eletricidade seria mais limitado, já que os próprios módulos solares fotovoltaicos representam de 20 a 30% do custo total da instalação. Mas para bens de consumo, como carros elétricos, o impacto provavelmente será mais direto e corre o risco de frear a implementação.

Estratégias industriais bem elaboradas podem ajudar as empresas a superar lacunas de competitividade ou alcançar a fronteira da inovação mais rapidamente, mas sua interação com as medidas de política comercial precisa de uma consideração cuidadosa. A política industrial implementada com uma meta específica, mensurável e com prazo determinado pode favorecer o cumprimento das metas climáticas e de políticas energéticas. Por exemplo, a produção de baterias na União Europeia é quase 50% mais cara do que na China hoje. Tecnologias inovadoras de baterias atualmente em desenvolvimento poderiam ajudar a reduzir a diferença de custos em até 40% – nesse ponto, as vantagens da fabricação localizada na União Europeia podem superar a diferença de custo restante. Para cultivar e manter a competitividade e a inovação, as políticas industriais devem ser monitoradas de perto e passíveis de correção de rumo. A política comercial deve ser elaborada com cuidado se for para promover tais metas – o protecionismo generalizado ou o apoio financeiro irrestrito têm poucas chances de resultar em uma estratégia industrial bem-sucedida.

As estratégias industriais devem levar em conta os novos parâmetros e objetivos do comércio internacional nas cadeias de suprimento de tecnologia limpa. Para equilibrar os esforços para alcançar as metas climáticas com os objetivos das políticas energética e industrial, as políticas comerciais precisarão ser elaboradas com foco em seu papel na nova economia de energia limpa e no que isso significa para a competitividade industrial atual. Não há uma receita única a ser seguida para essas políticas públicas, mas a análise apresentada no *ETP-2024* foi realizada para ajudar a avançar o debate nessa área.

Introdução

A série emblemática de relatórios da Agência Internacional de Energia (AIE), *Energy Technology Perspectives (ETP)*, vem apresentando percepções essenciais sobre aspectos tecnológicos fundamentais do setor de energia desde 2006. Ela foi reformulada em 2020 para servir como guia da AIE para tecnologias de energia limpa, com foco em temas particularmente relevantes para os formuladores de políticas públicas, tendo em vista a importância vital das tecnologias limpas e da inovação para alcançar as metas políticas de segurança energética, desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. Os esforços para atingir essas metas abrangem diferentes dimensões das políticas industriais, energéticas e comerciais – buscar sinergias positivas entre elas e gerenciar quaisquer dilemas será a chave para o sucesso. Com base em dados setoriais granulares e análises inovadoras, o *Energy Technology Perspectives 2024 (ETP-2024)* é o primeiro relatório desse tipo a analisar o futuro da fabricação e do comércio internacional de tecnologias de energia limpa e materiais relacionados. O objetivo é fornecer aos formuladores de políticas públicas uma avaliação quantitativa das oportunidades e complexidades associadas à fabricação e ao comércio dessas tecnologias e materiais em todo o mundo, com o objetivo de dar suporte à tomada de decisões sobre esses tópicos.

A análise abrange seis principais tecnologias de energia limpa – veículos elétricos (VEs), baterias, energia solar fotovoltaica (FV), turbinas eólicas, bombas de calor e eletrolisadores – que representam em conjunto quase metade dos gastos globais em investimentos em energia limpa e têm um tamanho de mercado combinado superior a USD 700 bilhões. A análise também abrange a fabricação e o comércio dos principais componentes dessas tecnologias, juntamente com três categorias de materiais – aço, alumínio e amônia (tanto para aplicações industriais quanto relacionadas a combustíveis) – com foco em processos de fabricação com emissões quase zero.

A análise do ETP-2024 leva em consideração a necessidade de construir cadeias de suprimento seguras e resilientes para a transição para energia limpa. Ele avalia as oportunidades econômicas geradas pela economia de energia limpa e moderna e como o investimento na fabricação de tecnologias e materiais de energia limpa está remodelando os fluxos comerciais globais. As tecnologias de energia limpa ganharam destaque em novas estratégias industriais que estão sendo elaboradas por governos em todo o mundo, a fim de impulsionar a produção nacional, criar empregos e aumentar a resiliência, ao mesmo tempo em que promovem os esforços de descarbonização. Políticas públicas têm um papel fundamental a desempenhar nestas áreas: cada país precisa elaborar a própria

estratégia industrial de energia limpa, refletindo seus pontos fortes e fracos inerentes, incluindo acesso a recursos minerais e energéticos de baixo custo, uma mão de obra qualificada e sinergias com indústrias existentes. Os formuladores de políticas públicas precisam equilibrar as metas de segurança e resiliência do suprimento, acessibilidade e equidade na elaboração de políticas públicas e estratégias eficazes para alcançar a neutralidade de emissões de GEE o mais rápido possível. O *ETP-2024* explora diversas maneiras de navegar pelas alternativas para atingir esses objetivos.

Este relatório amplia de maneira considerável a análise contida no *ETP-2023*, que se concentrou nas cadeias de suprimento de tecnologias de energia limpa e sua importância na transição energética, constatando que a fabricação das principais tecnologias estava fortemente concentrada em alguns dos principais mercados. O *ETP-2024* oferece uma análise mais profunda dos fatores que moldam a situação atual e as perspectivas de fabricação e o comércio dessas tecnologias e materiais de energia limpa, com base em um conjunto de dados exclusivo e rico em detalhes.

O Capítulo 1 analisa a situação atual das cadeias de suprimento da indústria e avalia os motivadores das decisões de investimento no setor de produção, principalmente a competitividade de custos. O Capítulo 2 analisa as perspectivas para a capacidade de fabricação e produção de energia limpa, bem como o comércio inter-regional, usando projeções baseadas em cenários de políticas públicas, enquanto o Capítulo 3 observa em detalhes as perspectivas em quatro mercados principais: Estados Unidos, União Europeia, China e Índia. O Capítulo 4 apresenta uma avaliação detalhada das oportunidades para mercados emergentes e economias em desenvolvimento avançarem na cadeia de valor e colherem os benefícios do investimento em fabricação e produção de materiais. O Capítulo 5 identifica as principais rotas marítimas e pontos de estrangulamento associados ao comércio de tecnologias de energia limpa, bem como o papel dos portos e navios na descarbonização do comércio internacional. Por fim, o Capítulo 6 discute considerações estratégicas para os formuladores de políticas públicas.

Capítulo 1: O andamento da manufatura e do comércio

Destaques

- A capacidade mundial de fabricação de tecnologias de energia limpa está se expandindo rapidamente. Apenas entre 2021 e 2023, a capacidade de produção aumentou de pouco mais de 450 GW para 1,2 TW para módulos solares fotovoltaicos, de 125 GW para 180 GW para energia eólica, de 10,5 para 22,2 milhões de unidades para VEs, de 1,1 TWh para 2,5 TWh para baterias e triplicou para 25 GW para eletrolisadores. As expansões anunciadas poderiam levar a uma capacidade de fabricação de 1,6 TW para a energia solar em 2030, 260 GW para a energia eólica, 9,3 TWh para baterias e 165 GW para eletrolisadores.
- A China é, de longe, o maior produtor de tecnologias de energia limpa e materiais relacionados, incluindo aço, alumínio e amônia. Com base nos projetos anunciados, espera-se que a concentração geográfica na indústria continue até 2030, com a China, a União Europeia e os Estados Unidos respondendo por mais de 80% da capacidade de produção das seis cadeias de suprimento de tecnologia limpa – energia solar fotovoltaica, energia eólica, veículos elétricos, baterias, eletrólise e bombas de calor – consideradas neste relatório.
- O investimento em capacidade de fabricação para as seis cadeias de suprimento de tecnologia de energia limpa chegou a USD 235 bilhões em 2023, em comparação com o valor de USD 160 bilhões em 2022. Com base nos projetos anunciados, espera-se que os investimentos nessas instalações permaneçam em torno de USD 200 bilhões em 2024, com uma média de USD 180 bilhões por ano a serem investidos até 2030, dos quais cerca de 35% estão comprometidos.
- O comércio de tecnologias limpas está aumentando rapidamente. As exportações globais de módulos solares fotovoltaicos aumentaram mais de dez vezes desde 2015; as de carros elétricos aumentaram quase vinte vezes. As rotas comerciais de navios graneleiros são mais congestionadas do que as dos navios petroleiros e dos navios porta-contêineres, além de serem mais concentradas na Ásia. A transição para energia limpa está mudando o cenário do comércio – as economias dependem menos de combustíveis fósseis, que são consumidos, e mais de tecnologias manufaturadas, que são adicionadas à capacidade instalada e operadas durante anos. Isso está mudando a natureza dos riscos da cadeia de suprimento.
- Custos são os principais determinantes do nível e da localização de investimentos em manufatura. Os custos operacionais variáveis, incluindo materiais, componentes e energia, representam mais de três quartos do custo nivelado de produção das tecnologias consideradas, quando as fábricas são utilizadas de maneira intensiva. Para a produção de materiais, a parcela de energia é muito maior, de modo geral. Produzir essas commodities com tecnologias de emissões quase zero é atualmente muito mais caro do que com tecnologias convencionais, mas o custo adicional pode diminuir bastante quando atingirem a escala comercial.
- Uma pesquisa da AIE com mais de 50 empresas destaca a importância de outros fatores além do custo, principalmente o tamanho do mercado interno. Na China, onde a capacidade de produção se expandiu com mais rapidez nos últimos anos, o tamanho do mercado de tecnologias limpas cresceu de USD 25 bilhões em 2010 para mais de USD 400 bilhões em 2023 em termos reais. Uma grande base industrial existente e a co-localização com fornecedores e clientes também são fortes fatores de atração.

Capítulo 2: Panorama global

Destaques

- O comércio é um facilitador essencial das transições para a energia limpa. O valor do comércio de tecnologias de energia limpa aumenta em todos os três cenários usados neste relatório, mas em diferentes ritmos. No Cenário de Políticas Declaradas (*Stated Policies Scenario*, STEPS), ele sobe de USD 200 bilhões em 2023 para USD 575 bilhões em 2035, mais da metade do valor do comércio atual de gás natural. No Cenário de Compromissos Anunciados (*Announced Pledges Scenario*, APS), esse valor ultrapassa USD 700 bilhões até 2035 e cresce ainda mais, superando USD 1 trilhão no Cenário de Emissões Líquidas Zero em 2050 (*Net Zero Emissions by 2050 Scenario*, NZE). Os dividendos do comércio seriam maiores se as tarifas fossem menores: as tarifas referentes aos sistemas energéticos renováveis e componentes renováveis são, em média, o dobro daquelas aplicadas aos combustíveis fósseis atualmente.
- O crescimento do comércio de tecnologias limpas terá um grande impacto nas balanças comerciais. No STEPS, as importações líquidas de tecnologias de energia limpa dos Estados Unidos chegarão a USD 150 bilhões em 2035, mas isso é compensado por um aumento nas exportações de combustíveis fósseis. Na União Europeia, as importações líquidas de tecnologias de energia limpa, um terço das quais vêm da China, atingirão USD 140 bilhões em 2035, compensando totalmente os ganhos da redução do custo de importação de combustíveis fósseis.
- Na China, o custo das importações de combustíveis fósseis hoje é mais de cinco vezes maior que as receitas de exportação de tecnologias limpas. As importações de combustíveis fósseis e as exportações de tecnologia limpa entram em equilíbrio pouco antes de 2050 no STEPS, mas isso é alcançado até 2035 no APS graças a políticas climáticas mais ambiciosas que reduzem a demanda por combustíveis fósseis e as necessidades de importação. Na Índia, o Programa de Incentivos Ligados à Produção (*Production Linked Incentive Scheme*) e as medidas para atingir a meta de emissões líquidas zero até 2070 ajudam o país a se tornar um exportador líquido de tecnologias limpas antes de 2035 no APS.
- Maior ambição climática não significa automaticamente mais comércio de tecnologias de energia limpa, pois as metas climáticas precisam ser equilibradas com as de segurança energética, comércio e desenvolvimento industrial. No Cenário NZE, uma transição justa e inclusiva significa que mais capacidade é instalada junto à demanda em economias de mercados emergentes e em desenvolvimento (EMEDs). Como resultado, o comércio global de tecnologias limpas será cerca de 5% menor até 2050 do que no APS.
- É improvável que as necessidades totais de investimento para fabricação de tecnologia limpa sejam uma barreira para a transição. Com USD 150 bilhões, o investimento médio anual global no período entre 2024 e 2035 no APS é, na

realidade, inferior ao nível observado em 2023, mas direcionar capital para as tecnologias e países onde ele é necessário será uma tarefa crucial. Mais de 20% do investimento necessário na fabricação de tecnologia limpa está em EMEDs (além da China) no Cenário APS e essa participação é de 30% no Cenário NZE. Em contrapartida, o investimento anual global na produção de materiais com emissões quase zero precisa crescer de maneira acentuada, de USD 4 bilhões hoje para USD 88 bilhões em média ao longo do período entre 2036 e 2050 no APS, e mais de USD 90 bilhões no Cenário NZE.

Capítulo 3: Perspectivas nos principais mercados

Destaques

- Nos Estados Unidos, a Lei de Redução da Inflação (*Inflation Reduction Act*) e a Lei de Infraestrutura Bipartidária (*Bipartisan Infrastructure Law*) estão mobilizando níveis sem precedentes de apoio financeiro governamental para a implantação e fabricação de tecnologias de energia limpa e desbloqueando mais investimentos. No Cenário de Políticas Declaradas (STEPS), a demanda dos EUA por módulos solares fotovoltaicos e polissilício será atendida quase inteiramente pela produção nacional até 2035, mas a procura por células solares fotovoltaicas e *wafers* ainda depende de importações. No Cenário de Compromissos Anunciados (APS), o México aproveita os pontos fortes existentes na fabricação de automóveis para se tornar um centro de fabricação de veículos elétricos (VE), respondendo por 35% das importações dos EUA até 2035. No STEPS, o investimento necessário na fabricação de tecnologia de energia limpa e materiais com emissões quase zero até 2030 é de USD 250 bilhões (a preços de 2023) e cerca de USD 300 bilhões no APS.
- Na União Europeia, a meta de 40% do desdobramento de tecnologias dentro do bloco a ser cumprida pela indústria local, estabelecida pela Lei da Indústria *Net Zero* (*Net Zero Industry Act*, NZIA), será atingida com mais facilidade para bombas de calor, se houver demanda suficiente, e para turbinas eólicas. O atual pipeline de projetos para fabricar baterias é amplamente suficiente para atingir as metas da NZIA, mas será necessário reduzir os custos de produção e expandir o mercado interno de VE para tornar a cadeia de suprimento de veículos elétricos competitiva. Como resultado, as importações de VE da China serão quase 50% menores em 2035 no APS do que no STEPS. A competitividade das instalações de produção de materiais da UE foi afetada pelo aumento dos custos de energia desde 2021 e precisa continuar se modernizando para permanecer na vanguarda dos desenvolvimentos em processos de emissões quase zero. Já foram comprometidos investimentos de USD 10 bilhões em tais projetos, representando quase 50% em todo o mundo, e outros USD 10 bilhões foram anunciados.
- A China continuará sendo a potência global na fabricação de tecnologias limpas, mas a realização de todo o seu potencial depende de uma série de fatores. Cerca de 60% de todos os VEs vendidos no mundo em 2035 no STEPS serão fabricados na China. Para módulos solares fotovoltaicos, a capacidade existente e anunciada seria amplamente suficiente para atender à demanda global em 2030 no APS, mas neste cenário, outros países também investem em capacidade de fabricação, atendendo cerca de 35% da demanda global. A China continuará sendo o maior produtor de materiais em 2035 na APS, embora sua participação global na produção tenha uma leve diminuição.

- O Programa de Incentivos Ligados à Produção da Índia incentiva a integração vertical em todas as cadeias de suprimento, uma das principais fontes da vantagem competitiva da China atualmente. No STEPS, isso faz com que a produção de módulos solares fotovoltaicos desse país cresça nove vezes até 2030, e a produção de células de bateria passe de uma indústria emergente em 2023 para mais de 50 GWh em 2030 – um nível próximo ao da União Europeia em 2023.

Capítulo 4: Oportunidades em mercados emergentes

Destaques

- A transição para energia limpa oferece uma oportunidade para mercados emergentes estabelecerem ou expandirem a fabricação de tecnologias limpas e materiais com emissões quase zero. Esses países respondem por menos de 5% do valor global gerado nesses setores atualmente.
- A medida em que os mercados emergentes serão capazes de aproveitar essa oportunidade depende de uma série de fatores favoráveis, incluindo o ambiente de negócios, a infraestrutura de energia e transporte e a disponibilidade de recursos e mercados internos. Uma análise abrangente realizada para este relatório ETP identificou o potencial de países na América Latina, no Sudeste Asiático e na África para desenvolver capacidades de fabricação para as principais tecnologias e materiais de energia limpa.
- O Sudeste Asiático tem potencial considerável para expandir a fabricação de energia solar fotovoltaica e veículos elétricos (VE), dada sua mão de obra qualificada, experiência em setores relacionados e recursos energéticos favoráveis. No Cenário de Compromissos Anunciados (APS), os países do Sudeste Asiático mais que dobram sua participação na produção global de *wafers* solares fotovoltaicos e polissilício, passando de 2% em 2023 para mais de 5% em 2035. A região produzirá quase 5,7 milhões de VEs até 2035 (em comparação com aproximadamente 40.000 em 2023), dos quais cerca de metade serão exportados.
- A América Latina tem condições favoráveis para o desenvolvimento da fabricação de turbinas eólicas e baterias, além da produção de amônia com emissões quase zero. O Brasil produz hoje mais de 5% de todas as pás eólicas e é um importante produtor de aço e exportador de minério de ferro, com infraestrutura portuária relevante. Melhorar ainda mais a infraestrutura de transporte e suas ligações com os locais de fabricação, além de reduzir os riscos de investimento, contribuiria para que o Brasil aproveitasse plenamente seu alto potencial, aumentando as exportações de pás eólicas em seis vezes, de hoje até 2035.
- O atual ambiente de negócios e infraestrutura da África, além da baixa demanda interna, dificultam a atração de grandes investimentos na fabricação, mas em alguns setores e países há grandes oportunidades que poderiam promover o desenvolvimento econômico e a criação de empregos. O Norte da África, particularmente Marrocos, se torna um centro de fabricação de VE na APS, exportando 65% dos 1,8 milhões de VEs produzidos até 2035 para a Europa e América do Norte. A África também utiliza seus recursos de minério de ferro e energia renovável para produzir ferro com hidrogênio eletrolítico. Em um caso de alto potencial, as exportações para Europa, Coreia e Japão atingirão cerca de USD 6 bilhões em 2050.

Capítulo 5: Transporte marítimo internacional

Destaques

- O transporte marítimo é a espinha dorsal do comércio internacional, representando mais de 80% de todo o comércio em massa. O comércio marítimo global triplicou em termos de massa e multiplicou por dez em termos de valor nas últimas quatro décadas. Os combustíveis fósseis e outros insumos para a indústria pesada respondem atualmente por quase dois terços da atividade de transporte marítimo, principalmente por meio de navios de transporte de carga sólida e petroleiros. Os combustíveis fósseis sozinhos representam 40% do total da massa marítima comercializada e o minério de ferro e a bauxita para fabricação de aço e alumínio, 20%.
- A atividade de transporte marítimo está altamente concentrada na região da Ásia-Pacífico, com a China no seu centro: ela abriga os portos de contêineres mais movimentados e é o principal importador de produtos transportados por navios-tanque e por navios de transporte de carga sólida. As importações e exportações da China representam mais de 40% da atividade global de transporte marítimo relacionada às necessidades da indústria pesada e dos combustíveis fósseis.
- Cerca de 60% do comércio marítimo global passa por um ou mais pontos de estrangulamento marítimo. Um terço de todo o comércio de combustíveis fósseis passa pelo Estreito de Malaca, e 20% pelo Estreito de Ormuz, enquanto dois terços do comércio marítimo de tecnologias de energia limpa passam por pelo menos um ponto de estrangulamento, sendo mais da metade através do Estreito de Malaca. No Cenário de Políticas Declaradas (STEPS), as remessas de tecnologia limpa por meio de Malaca aumentam substancialmente e sua participação no comércio marítimo total se aproxima de 60% até 2035.
- As transições para energia limpa mudarão as rotas comerciais globais e desacelerarão o crescimento da atividade de transporte marítimo, apesar do aumento do comércio de tecnologias de energia limpa. No Cenário de Compromissos Anunciados (APS), a queda do uso de combustíveis fósseis e o aumento da reciclagem reduzem a atividade de transporte marítimo em 10% em comparação com o STEPS até 2035 e 15% até 2050. As emissões do transporte marítimo internacional cairão quase 60% até 2035 e mais de 90% até 2050 na APS, impulsionadas pela mudança para biocombustíveis e emissões quase zero de amônia e metanol, embora ainda haja incertezas sobre a adoção futura. Esses combustíveis serão responsáveis por mais de 80% do uso de energia no transporte marítimo até 2050.

- Os custos de transporte marítimo e de outros meios de transporte representam menos de 10% do custo total de suprimento de combustíveis de baixas emissões aos portos para reabastecimento, mas, ainda assim, são mais caros de transportar do que os combustíveis à base de petróleo. Os custos de produção são mais baixos em regiões que não são necessariamente centros de abastecimento de combustível atualmente. Isso cria uma oportunidade para que os portos se tornem pioneiros no suprimento de combustível de baixa emissão, sobretudo em áreas como Oriente Médio e Austrália, onde os recursos renováveis são abundantes e há tráfego marítimo considerável. Os portos em outras regiões com fortes recursos renováveis também poderiam exportar amônia para os principais centros de transporte marítimo existentes.

Capítulo 6: Considerações estratégicas

Destaques

- Alcançar transições ordenadas para a energia limpa, que protejam e aprimorem a prosperidade econômica para todos, é necessário que todos os governos abordem de maneira equilibrada três dimensões essenciais de políticas públicas para as cadeias de suprimento de produção de energia limpa: segurança e resiliência, acessibilidade e transições centradas nas pessoas. Isso exige políticas energéticas, climáticas, industriais e comerciais mais integradas. A cooperação internacional em questões emergentes, como padrões, é fundamental.
- Os riscos para cadeias de suprimento seguras e resilientes incluem concentração de abastecimento, gargalos no comércio físico e medidas que afetam o comércio. Os riscos para energia limpa e materiais acessíveis incluem a falta de apoio à inovação e à concorrência, e a baixa eficiência de materiais em todas as cadeias de suprimento. Os riscos para resultados equitativos nas transições energéticas incluem investimentos lentos em economias emergentes e em desenvolvimento, além da diminuição das oportunidades econômicas em regiões que poderiam perder capacidade de fabricação existente.
- Os formuladores de políticas públicas enfrentam compensações inevitáveis entre alguns desses riscos e precisarão adotar abordagens assertivas e baseadas em dados para equilibrar objetivos de longo prazo. O progresso na mitigação dos riscos pode ser monitorado usando uma série de métricas em nível nacional e internacional, mas serão necessários dados melhores em diversas áreas.
- Seis respostas estratégicas podem ajudar a abordar os riscos identificados para a resiliência da cadeia de suprimento, empregos e prosperidade:
 - Criar pacotes de políticas industriais que sejam direcionados, responsivos e robustos e promovam a competitividade internacional.
 - Aumentar a competitividade por meio da promoção de ecossistemas de inovação.
 - Aumentar a competitividade incentivando a co-localização e a integração.
 - Promover uma ampla diversificação da indústria, em particular para economias emergentes e em desenvolvimento por meio de parcerias.
 - Prever os desenvolvimentos no transporte marítimo, incluindo os riscos associados aos pontos de estrangulamento e as implicações do aumento da demanda por combustível de baixa emissão.
 - Incentivar a coleta de melhores dados sobre comércio, capacidades e emissões para auxiliar a tomada de decisões por parte de empresas e governos.

International Energy Agency (IEA)

Brazilian Portuguese translation of *Energy Technology Perspectives Executive summary 2024*

Este relatório foi escrito originalmente em inglês. Embora todo o cuidado tenha sido tomado para que esta tradução seja o mais fiel possível, pode haver pequenas diferenças entre este texto e a versão original.

This work reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of the IEA's individual member countries or of any particular funder or collaborator. The work does not constitute professional advice on any specific issue or situation. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the work's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the work.



Subject to the IEA's [Notice for CC-licensed Content](#), this work is licenced under a [Creative Commons Attribution 4.0 International Licence](#).

Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

IEA Publications
International Energy Agency
Website: www.iea.org
Contact information: www.iea.org/contact

Typeset in France by IEA - Original version: October 2024; Translation:
January 2025
Cover design: IEA
Photo credits: © Getty Images

