FACULDADE DE ECONOMIA UNIVERSIDADE DO PORTO

Análise Económica da Competitividade entre projetos de Energia Solar Fotovoltaica e Eólica na Península Ibérica a partir do Custo Nivelado de Energia (LCOE)

Pedro Henrique Fontes Rodrigues

Dissertação

Mestrado em Economia e Administração de Empresas

Orientado por:

PhD Susana Maria Almeida da Silva

2025

Reconhecimentos

Ao longo da minha formação e trajetória profissional, procurei sempre compreender os fatores económicos que orientam as decisões de empresas e países — um interesse que me conduziu até este trabalho final, no qual tive a oportunidade de reunir a análise económica de projetos com o setor das energias renováveis, áreas que sempre despertaram o meu interesse.

Quero expressar o meu sincero agradecimento à Professora Susana, minha orientadora, pela orientação, disponibilidade e apoio constante ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais e à minha irmã, agradeço pelo amor, apoio incondicional e pela confiança que sempre depositaram em mim, em todas as fases da minha vida.

Um agradecimento muito especial aos meus primos Rafa, Marcela e Aninha, assim como aos meus tios e padrinhos, Cris e Oscar — que partiu este ano, mas que continuará sempre vivo na minha memória e no meu coração. Todos eles tiveram um papel fundamental nesta etapa tão importante da minha vida. O apoio, o carinho e os momentos que partilhámos — em especial as viagens inesquecíveis que vivemos juntos — foram essenciais para mim e ficarão para sempre guardados na minha memória.

A todos, o meu profundo reconhecimento e gratidão.

Abstract

This paper aims to analyze and compare the economic competitiveness of solar photovoltaic and wind energy projects in the Iberian Peninsula, two of the most popular sources of renewable energy generation in recent years. The analysis will be carried out using the Levelized Cost of Energy methodology, which attempts to measure the average production cost of a given generation technology. The methodology is based on a formula that considers important factors that impact the average cost along the lifespan of each technology, such as generation capacity, capital costs, operating costs, maintenance costs, and macroeconomic factors. This methodology is widely used by companies and government institutions to aid decision-making, and the topic is extremely important today, as countries try to reverse the harm caused by carbon emissions into the atmosphere.

Keywords: Wind Energy; Photovoltaic Solar Energy; Renewable Energy; Iberian Peninsula; Decarbonization; Levelized Cost of Energy; Competitiveness; Economic Analysis.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar a competitividade económica de projetos de energia solar fotovoltaica e eólica na Península Ibérica, duas das fontes de geração de energia renovável mais populares dos últimos anos. A análise será feita através da metodologia do Custo Nivelado de Energia, que tenta mensurar o custo médio de produção de uma determinada tecnologia de geração. A metodologia se baseia em uma fórmula que leva em consideração fatores importantes que impactam o custo médio ao longo do tempo de vida de cada uma das tecnologias, como capacidade de geração, custos de capital, de operação, manutenção, além de fatores macroeconómicos. Essa metodologia é amplamente utilizada por empresas e instituições governamentais para auxílio de tomada de decisão e o tema é de extrema importância atualmente, onde os países tentam reverter os malefícios causados pela emissão de gases de carbono na atmosfera.

Palavras-chave: Energia Eólica; Energia Solar Fotovoltaica; Energia Renovável; Peninsula Ibérica; Descarbonização; Custo Nivelado de Energia; Competitividade; Análise Econômica.

Índice

Reconhecimentos iii
Abstract iv
Resumo vi
Glossário x
Lista de Figuras xi
Lista de Tabelas xii

1 Introdução 13

2 Revisão da Literatura 16
2.1 As Energias Renováveis no Mundo 16
2.1.1 Cenário Atual 16
2.1.2 Projeções 19
2.2 Cenário Atual da Península Ibérica 21
2.2.1 Espanha 21
2.2.2 Portugal 24
2.3 Energia Solar Fotovoltaica 24
2.4 Energia Eólica 29
2.5 LCOEs no mundo 32

3 Metodologia 37

4 Aplicação do LCOE 39
4.1 Dados 39
4.1.1 Premissas Gerais 39
4.1.2 Taxa de Inflação 40
4.1.3 Taxa de Câmbio 40
4.2 Tratamento dos Dados e definição das premissas 41
4.2.1 Energia Produzida 41
4.2.2 Investimento de capital (CAPEX) 42
4.2.3 Custos de operação e Manutenção (OPEX) 42
4.2.4 Taxa de desconto 43
4.3 LCOE 43
4.3.1 Projetos Solar Fotovoltaicos 43
4.3.2 Projetos Eólicos 44

4.3.3 Avaliação dos Resultados obtidos 45

5 Conclusão **47**

5.1 Observações Finais 47

5.2 Limitações e Trabalhos Futuros 47

Glossário

BCE – Banco Central Europeu
CAPEX – Custos com Capital
CO2 – Gás Carbônico
COP – Conferência das Partes
EUR – Euros
EURk – Milhares de Euros
GW – Gigawatts
GWh – Gigawatt-hora
IEA – Agência Internacional de Energia
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IRENA – Agência Internacional de Pesquisa em Energias Renováveis
kW - Kilowatts
kWh – Kilowatt-hora
LCOE ou LEC – Custo Nivelado de Electricidade
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MW – Megawatts
MWh – Megawatt-hora
NDC - Contribuições Nacionalmente Determinadas
NPV ou VPL – Valor Presente Líquido
OPEX – Custos com Operação e Manutenção
PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima
PNIEC - Plano Nacional Integrado de Energia e Clima
USD – Dólares americanos
WACC – Custo Médio Ponderado de Capital

Lista de Figuras

1 Emissões de CO2 por setor. 14
2 Capacidade Instalada Anual. 17
3 Capacidade Instalada Acumulada 17
4 Nova capacidade de energias renováveis por país 18
5 Participação das energias renováveis frente a geração global 19
6 Estrutura de Produção na Espanha 22
7 Estrutura de Capacidade na Espanha 23
8 Esquema de produção solar fotovoltaica 25
9 Estrutura das células fotovoltaicas 26
10 Estrutura dos módulos fotovoltaicos 27
11 Estrutura dos módulos fotovoltaicos aberto 27
12 Componentes de produção solar fotovoltaica 27
13 Esquema de produção solar fotovoltaica completo 28
14 Usina Eólica 29
15 Componentes de produção de energia eólica. 30
16 Usina eólica com eixo horizontal. 31
17 Usina eólica com eixo vertical 31
18 Usina eólica offshore 32
19 Histórico LCOEs eólica EUA 33
20 Histórico LCOEs solar EUA 34

Lista de Tabelas

1 LCOE Solar Fotovoltaico em 2023 34
2 LCOE Eólico Onshore em 2023 35
3 Resumo dos LCOEs de diferentes fontes 35
4 Resumo das premissas gerais 39
5 Inflação anual 40
6 Produção Anual 41
7 Investimentos com base 2025 42
8 CAPEX 42
9 Custos com base 2025 42
10 OPEX no ano 1 42
11 Custos anuais 43
12 Taxas de desconto Península Ibérica 43
13 Projeções solar anos 0 a 10 43
14 Projeções solar anos 11 a 20 44
15 Projeções solar anos 21 a 25 44
16 Projeções eólica anos 0 a 10 44
17 Projeções eólica anos 11 a 20 44
18 Projeções eólica anos 21 a 25 45

1.Introdução

O consumo de energia tem sido, ao longo da história, um elemento fundamental para a sobrevivência da humanidade e o progresso das sociedades. O desenvolvimento de tecnologias de produção energética marcou diferentes períodos históricos. Na Antiguidade, a geração de energia era limitada, baseando-se na força humana e animal. Com a Primeira Revolução Industrial, impulsionada pelas máquinas a vapor alimentadas por carvão mineral, a produção em larga escala tornou-se realidade, transformando a energia num pilar essencial das economias modernas. Posteriormente, a Segunda Revolução Industrial expandiu essa capacidade com o uso de motores movidos a petróleo, fonte abundante e eficiente, e consolidou a liderança tecnológica dos Estados Unidos, que exportaram o seu modelo industrial para o mundo (Andrade e Mattei, 2012).

Nas últimas décadas, as sociedades intensificaram o uso de combustíveis fósseis, emitindo grandes quantidades de gases com efeito de estufa (GEE), dificultando a dispersão da radiação solar refletida pela Terra — fenómeno causado, sobretudo, pela queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2023). Este cenário deu origem a uma crescente consciencialização sobre os impactos ambientais e ao debate em torno das alterações climáticas.

As questões climáticas, como enfatizado por Araujo et al. (2020), não conhecem fronteiras, exigindo cooperação global. Nesse sentido, diversos fóruns internacionais passaram a tratar a transição energética como prioridade. Em 1992, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, deu origem à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC). Desde então, as Conferências das Partes (COP) destacam-se como marcos na governança climática. A COP 3 (Quioto, 1997) estabeleceu metas de redução de emissões para países desenvolvidos e criou mecanismos de flexibilização que deram origem ao mercado de carbono (Araujo et al., 2020). A COP 21 (Paris, 2015) resultou no Acordo de Paris, comprometendo 195 países a limitar o aumento da temperatura global a menos de 2 °C, com esforços adicionais para manter esse aumento abaixo de 1,5 °C (Costa & Batista, 2020). Mais recentemente, a COP 28 (Dubai, 2023) marcou um avanço ao mencionar, pela primeira vez, a necessidade de abandono progressivo dos combustíveis fósseis, promovendo sua substituição por fontes renováveis de forma justa e equitativa (Friedman, 2023).

Contudo, apesar dos compromissos internacionais, as emissões globais continuam a crescer. A Figura 1 apresenta a evolução das emissões de CO_2 por setor, entre 1990 e 2023:

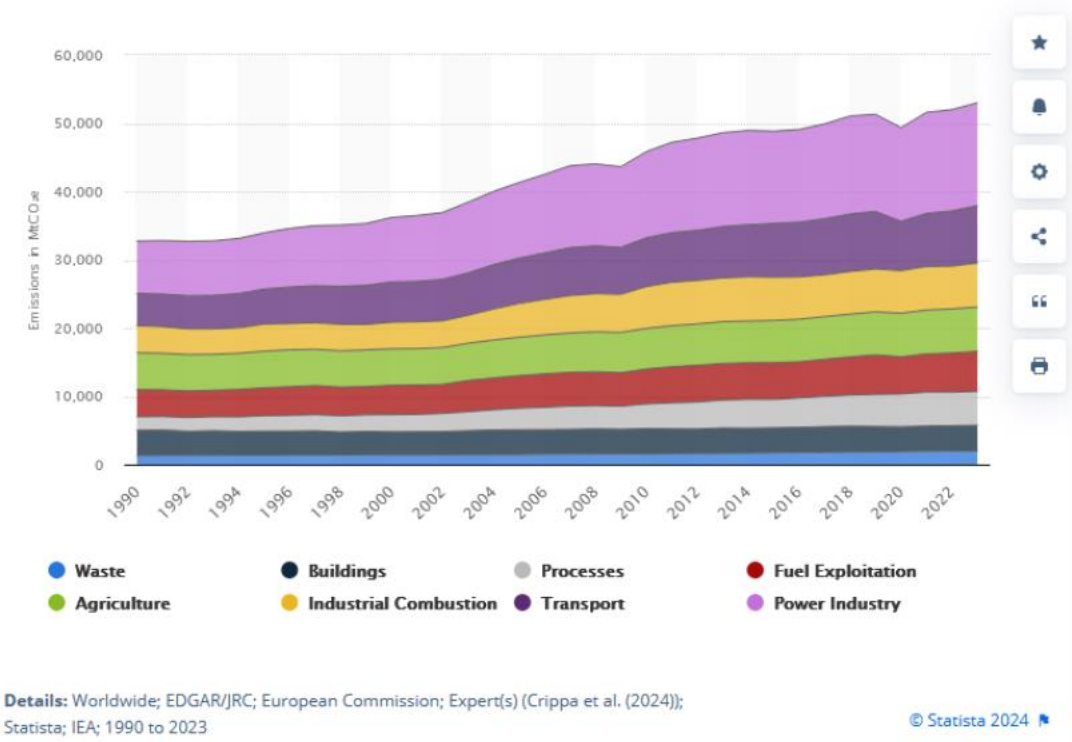


Figura 1: Emissões de CO2 por setor. Fonte: Statista (2024).

De acordo com os relatórios mais recentes da Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA) e da Agência Internacional de Energia (IEA), publicados em 2024, a transição energética tem sido acompanhada por um forte crescimento das energias renováveis, destacando-se a energia solar fotovoltaica e a energia eólica. Estas tecnologias, além de ambientalmente sustentáveis, tornaram-se competitivas em termos económicos na maioria dos mercados globais.

A escolha entre estas fontes, no entanto, depende de múltiplos factores: localização geográfica — zonas com elevada radiação solar favorecem a energia solar, enquanto regiões com ventos constantes são mais indicadas para a energia eólica —, espaço disponível, perfil de consumo energético, custos iniciais e operacionais, entre outros (Guia Indústria, 2023). Apesar de serem frequentemente tratadas como alternativas, as duas fontes possuem características complementares, sendo possível combinar ambas em estratégias energéticas mais robustas e eficientes.

Neste contexto, torna-se essencial dispor de instrumentos que permitam comparar, de forma padronizada, o desempenho técnico e económico de projectos de diferentes tecnologias. O Custo Nivelado de Energia (LCOE) surge como uma das principais métricas para este fim, permitindo estimar o custo médio por unidade de energia produzida ao longo da vida útil de um projecto.

Assim, o presente trabalho propõe aplicar a metodologia do LCOE a projectos de energia solar fotovoltaica e de energia eólica na Península Ibérica, com o objectivo de comparar o seu nível de competitividade económica e identificar possíveis tendências de concentração de investimento.

Esta dissertação encontra-se organizada em quatro capítulos, além da introdução: o capítulo de Revisão da Literatura, no qual são apresentados os principais conceitos teóricos e estudos prévios relevantes; o capítulo de Metodologia, que descreve as abordagens e fontes de dados utilizadas; o capítulo de Aplicação da Metodologia, onde se realiza a análise e interpretação dos dados; e, por fim, o capítulo de Conclusão, com os principais resultados, limitações do estudo e sugestões para investigações futuras.

2.Revisão da Literatura

2.1 As Energias Renováveis no Mundo

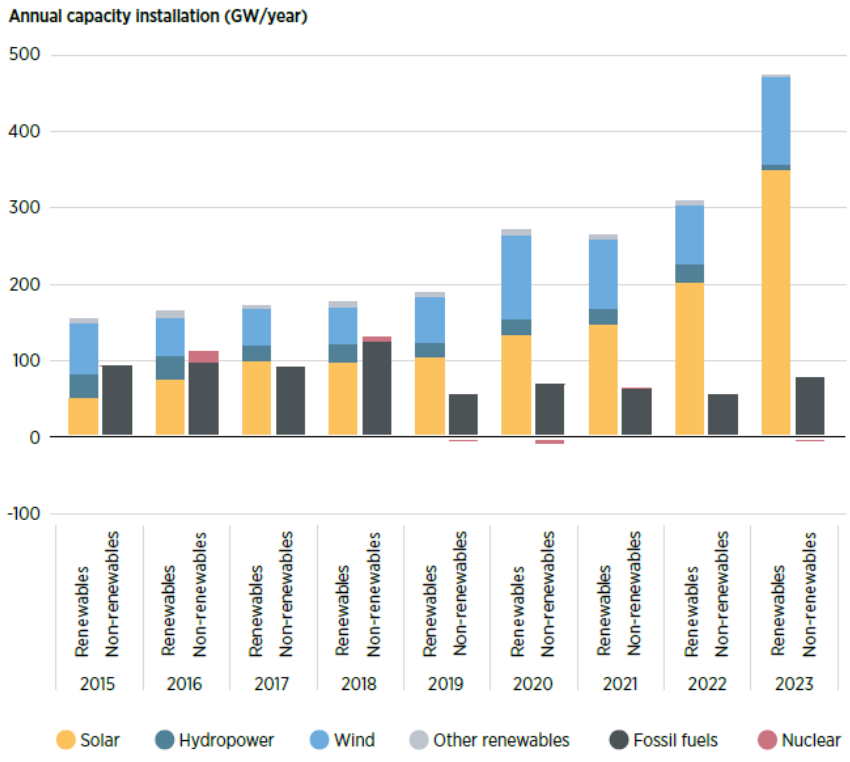
2.1.1 Cenário Atual

De acordo com o mais recente relatório da Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA, 2024), a capacidade de geração de energia renovável representava, no final de 2023, cerca de 43% da capacidade total de geração energética a nível mundial. Este dado revela o esforço crescente dos países rumo à transição energética, tendo 2023 registado um recorde histórico na expansão da capacidade renovável até então: foram adicionados 473 gigawatts (GW), correspondentes a aproximadamente 86% da nova capacidade instalada no ano.

Este crescimento foi impulsionado por diversos factores, destacando-se as políticas industriais de incentivo, estruturas regulatórias e de mercado mais favoráveis, avanços tecnológicos, redução de custos, e preocupações com a segurança energética e a sustentabilidade ambiental.

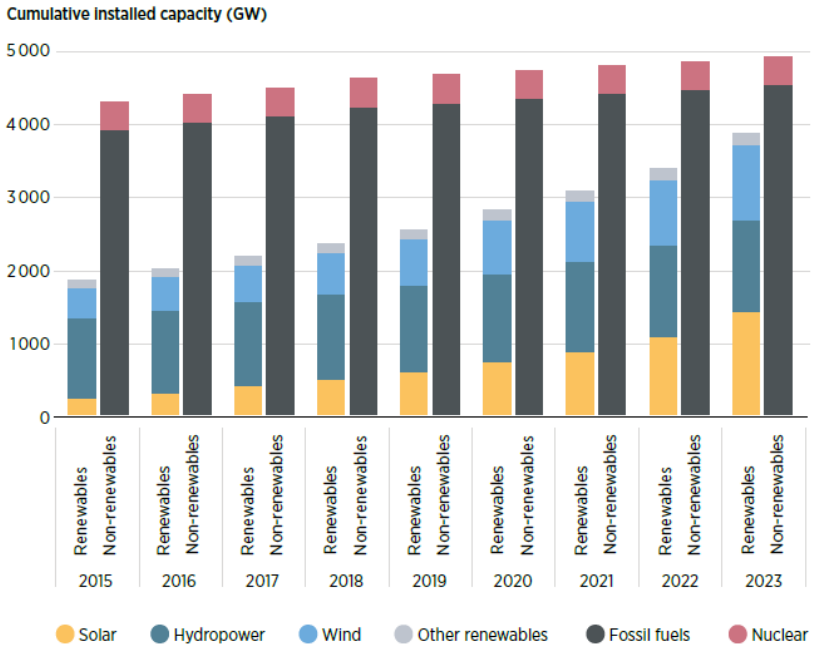
Entre as tecnologias renováveis, a energia solar fotovoltaica e a energia eólica foram as principais responsáveis pela expansão global. A energia solar liderou, com 347 GW adicionados — cerca de 73% do total —, com a China a representar 63% dessa adição, seguida pela União Europeia (15%) e pelos Estados Unidos da América (7%). A energia eólica também registou um crescimento recorde, com 114,5 GW, dos quais 103,9 GW referentes à geração onshore e 11 GW à offshore. Assim, a capacidade instalada global da energia solar fotovoltaica atingiu 1.411 GW, enquanto a energia eólica totalizou 1.017 GW (IRENA, 2024).

As Figuras 2 e 3 ilustram a evolução anual das adições de capacidade por tecnologia de geração e a progressão acumulada entre 2015 e 2023, evidenciando o destaque das fontes solar e eólica em relação às demais:



Source: (IRENA, 2024a).
Notes: GW = gigawatt; hydropower data excludes pumped hydro.

Figura 2: Capacidade Instalada Anual. Fonte: IRENA (2024)

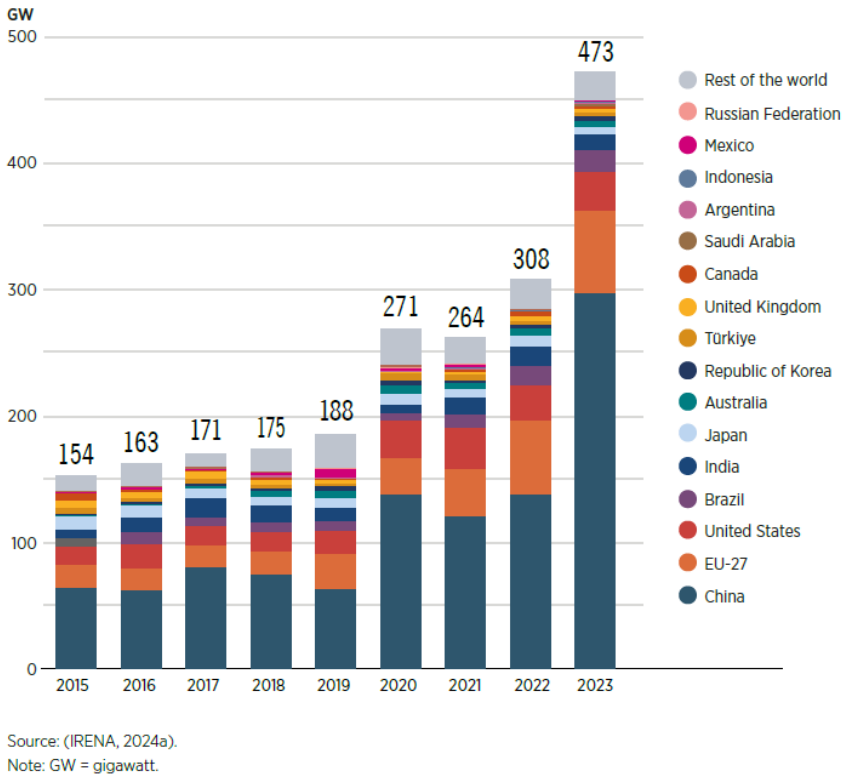


Source: (IRENA, 2024a).
Notes: GW = gigawatt; hydropower data excludes pumped hydro.

Figura 3: Capacidade Instalada Acumulada. Fonte: IRENA (2024)

O crescimento registado foi impulsionado sobretudo pela China, União Europeia e Estados Unidos, que, em conjunto, foram responsáveis por cerca de 85% das novas adições globais. A China, em particular, alcançou um marco relevante, com aproximadamente 85% da sua nova capacidade energética a ter origem em fontes renováveis, resultado da contínua redução dos custos das tecnologias solar e eólica em larga escala e da implementação de políticas públicas robustas de apoio ao sector energético (IRENA, 2024).

A figura 4 mostra as novas capacidades de energia renovável adicionadas ao redor do mundo ao longo dos últimos anos:



Source: (IRENA, 2024a).
Note: GW = gigawatt.

Figura 4: Nova capacidade de energias renováveis por país. Fonte: IRENA (2024)

Segundo o relatório da REN21 (2025), em 2024 foi registado o maior aumento anual de capacidade renovável alguma vez verificado, com 741 GW adicionados – um volume consideravelmente maior que o ano anterior. A energia solar fotovoltaica liderou esse crescimento, apoiada por custos em rápida queda, grandes projectos de implantação e cadeias de suprimento consolidadas. Destaca-se ainda o crescimento da capacidade de armazenamento em baterias, que atingiu níveis recorde devido à queda dos preços e à crescente consciencialização sobre a sua importância para a estabilidade da rede.

Contudo, apesar da expansão, a procura global por electricidade aumentou num ritmo superior, impulsionada por temperaturas elevadas, maior electrificação de mercados emergentes, crescimento da indústria e, especialmente, pelo aumento

do consumo energético associado aos centros de dados, em resposta à expansão da Inteligência Artificial (REN21, 2025).

Ainda segundo a REN21 (2025), as emissões globais de CO_2 relacionadas com a energia aumentaram 0,8% em 2024, ano considerado o mais quente já registado, com a temperatura média global a ultrapassar, pela primeira vez, os 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. Os impactos climáticos intensificaram-se globalmente, com fenómenos extremos como incêndios florestais em Los Angeles, inundações em Valência, secas prolongadas na América Latina e cheias repentinas no Caribe.

De acordo com a Ember (2025), a geração combinada de fontes de baixo carbono — incluindo renováveis e energia nuclear — ultrapassou, pela primeira vez desde a década de 1940, os 40% da geração global de electricidade. A produção de electricidade a partir de fontes renováveis atingiu 878 TWh em 2024, representando um aumento de 49% face ao recorde anterior (577 TWh, em 2022). A energia solar, em particular, duplicou a sua geração nos últimos três anos, mantendo-se como a principal fonte de nova geração de electricidade global pelo terceiro ano consecutivo e a fonte de crescimento mais acelerado pelo vigésimo ano consecutivo.

Na figura 5 é possível observar a participação das energias renováveis frente a geração global de energia ao longo do tempo, assim como a quebra das tecnologias em 2024:

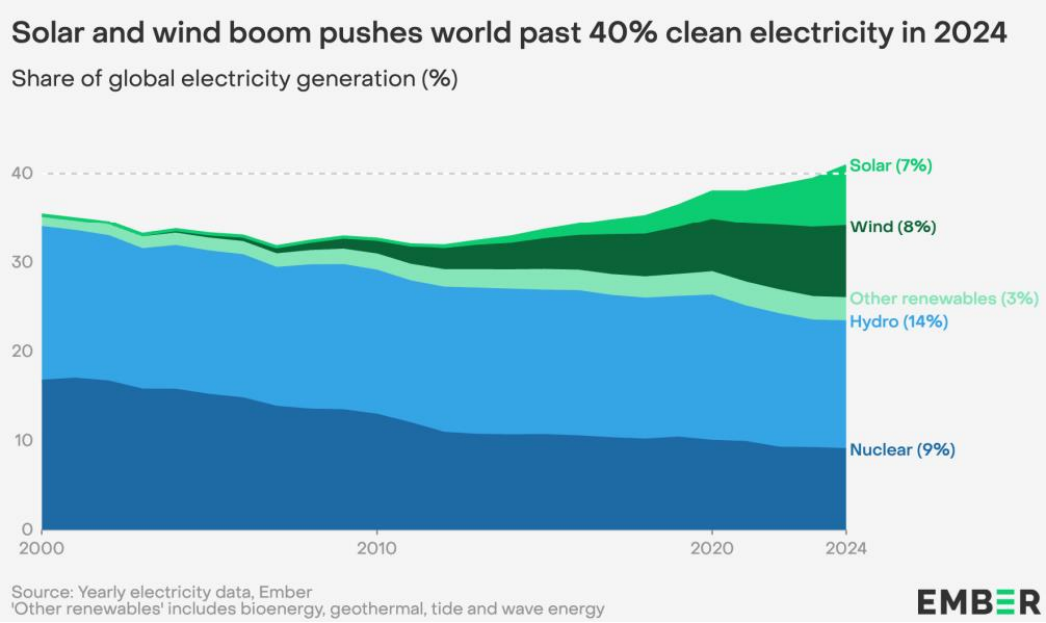


Figura 5: Participação das energias renováveis frente a geração global.
Fonte: Ember (2025)

2.1.2 Projeções

De acordo com o Relatório Anual da Agência Internacional de Energia (IEA, 2024), estima-se que a capacidade global de geração a partir de fontes renováveis aumente 2,7 vezes até 2030. Esta previsão resulta do papel estratégico

desempenhado por 140 países que vêm implementando políticas climáticas e de segurança energética, bem como incentivos industriais voltados para a produção local de painéis solares e turbinas eólicas, promovendo assim o fortalecimento dos seus mercados internos.

O mesmo relatório estima que, com base nas políticas atualmente em vigor e nas condições de mercado existentes, cerca de 5.500 GW de nova capacidade renovável deverão entrar em operação até 2030. As tecnologias solar fotovoltaica e eólica deverão representar, em conjunto, 95% deste acréscimo. Este crescimento notável deve-se sobretudo à expansão acelerada da energia solar fotovoltaica e ao papel de destaque da China nesse processo.

A China deverá consolidar a sua posição como líder global no desenvolvimento de energias renováveis, sendo responsável por aproximadamente 60% da expansão prevista até ao final da década, impulsionada por políticas públicas robustas e por uma elevada competitividade em termos de custos. A energia solar fotovoltaica deverá, por si só, representar cerca de 80% de toda a nova capacidade renovável instalada até 2030, impulsionada pela redução acentuada dos custos, pela simplificação dos processos de licenciamento e pela crescente adesão por parte de consumidores residenciais e empresariais (IEA, 2024).

A União Europeia e os Estados Unidos também deverão duplicar o seu ritmo de crescimento em energias renováveis até 2030. Nos EUA, os incentivos fiscais previstos na Inflation Reduction Act continuarão a fomentar o investimento, enquanto na UE espera-se que os leilões competitivos e os contratos corporativos de aquisição de energia desempenhem um papel fundamental. A Índia deverá apresentar a maior taxa de crescimento entre as grandes economias, com destaque para a rápida expansão dos leilões, a introdução de novos programas de incentivo à energia solar em coberturas e a melhoria dos indicadores financeiros das empresas concessionárias (IEA, 2024).

Ainda segundo a IEA, estima-se que as energias renováveis representem quase metade da produção global de electricidade até 2030, com a participação conjunta da energia eólica e solar a duplicar, atingindo 30% da geração. A energia solar deverá assumir o protagonismo, ultrapassando a energia eólica e a hídrica, esta última actualmente a maior fonte renovável da matriz global.

Contudo, em países onde o investimento em infraestruturas de rede e as medidas de integração não acompanham o ritmo de expansão das fontes renováveis, o fenómeno do curtailment — ou seja, a limitação da produção por incapacidade de escoamento — poderá tornar-se um desafio significativo. Casos como os do Chile, Irlanda e Reino Unido já registam níveis de curtailment entre 5% e 15%. Embora o investimento em sistemas de armazenamento com baterias esteja em crescimento, a superação deste obstáculo exigirá também o desenvolvimento de soluções como armazenamento de longo prazo e programas de resposta à procura em larga escala (IEA, 2024).

A capacidade de ligação à rede continua a ser um gargalo crítico. Estima-se que cerca de 1.650 GW de capacidade renovável estejam em fase final de desenvolvimento, aguardando apenas a conexão à rede. Ainda que as filas de

espera nos estágios iniciais de desenvolvimento tenham diminuído — reflexo da maturação de alguns projectos e da desistência de outros —, o ritmo de investimento em infraestruturas de rede permanece aquém do necessário (IEA, 2024).

Segundo o relatório da BloombergNEF (2025), as tecnologias renováveis e os veículos eléctricos continuam a ganhar relevância no contexto da transição energética, impulsionadas por custos cada vez mais competitivos e pela maturação tecnológica. Apesar da existência de desafios como taxas de juro elevadas, volatilidade nos custos e crescentes barreiras comerciais, estas tecnologias mantêm vantagens económicas significativas, promovendo uma adopção acelerada.

De acordo com a BloombergNEF (2025), embora as emissões de CO_2 relacionadas à energia tenham aumentado quase todos os anos desde a década de 1950, o crescimento da geração de energia limpa parece ter finalmente alcançado o ritmo da procura. Isso sugere que 2024 poderá ter marcado o pico das emissões energéticas globais e que 2025 poderá ser o primeiro ano de declínio estrutural dessas emissões a nível mundial. Embora alguns países já tenham registado esta redução estrutural, esta seria a primeira vez que tal fenómeno ocorreria em escala global.

Importa, contudo, salientar que este declínio global não será uniforme entre as nações. Algumas economias em crescimento — como Índia, Vietname e Indonésia — deverão continuar a aumentar as suas emissões. Outras regiões, como o Médio Oriente, África, América Latina e partes da Ásia, poderão observar uma estagnação. O declínio global, de acordo com a BloombergNEF (2025), será impulsionado principalmente por reduções nas principais economias: China, Estados Unidos e União Europeia.

Por fim, o relatório da McKinsey & Company (2024) projeta que o consumo mundial de electricidade poderá mais do que duplicar entre 2023 e 2050, tornando-se a principal fonte de energia primária no planeta. Este crescimento será alimentado tanto por sectores tradicionais — como a mobilidade eléctrica — como por novas áreas, nomeadamente os centros de dados e a produção de hidrogénio verde. Destaca-se especialmente o impacto crescente da Inteligência Artificial, que poderá exercer uma influência substancial no futuro da procura energética, dependendo da velocidade e do alcance das suas aplicações e sinergias com outras tecnologias emergentes.

2.2 Cenário Atual na Península Ibérica

2.2.1 Espanha

De acordo com a Red Eléctrica de España (REE), entidade responsável pela operação do sistema elétrico espanhol, a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis atingiu em 2024 um total de 149.999 GWh, representando 56,8% da produção total e um crescimento de 10,3% face ao ano anterior. A energia solar fotovoltaica registou um aumento expressivo de 18,9%, alcançando

um novo recorde pelo sexto ano consecutivo. Estes dados refletem o avanço da transição energética em Espanha.

Como se observa na Figura 6, a energia eólica liderou a estrutura de produção elétrica com 23,2% de participação, seguida da energia nuclear (20%) e da solar fotovoltaica (17%):

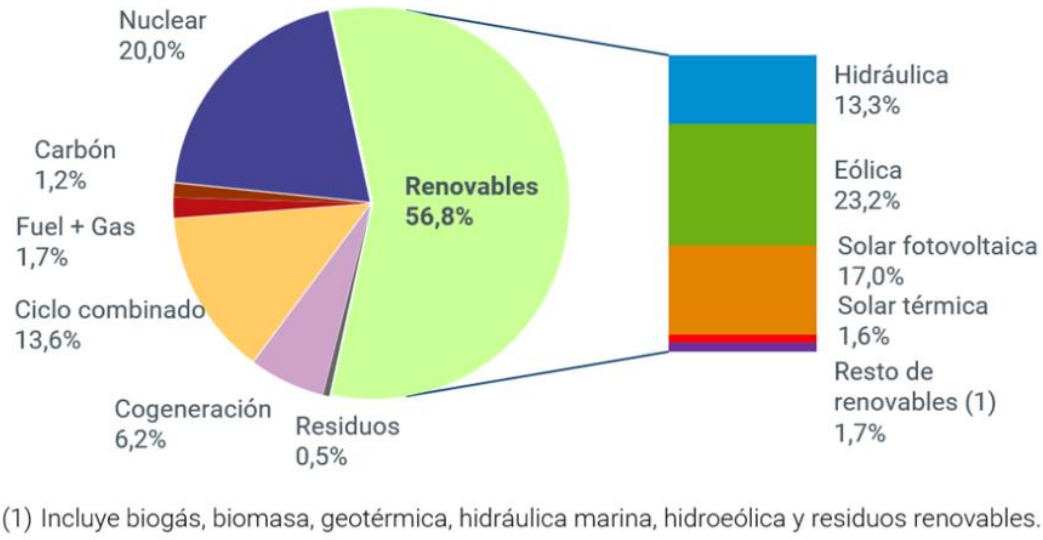


Figura 6: Estrutura de Produção na Espanha. Fonte: Red Eléctrica de España. (2025)

As emissões de CO_2 equivalente associadas à produção elétrica atingiram, nesse ano, o valor mais baixo já registado: 27 milhões de toneladas, traduzindo uma redução de 16,8% em relação a 2023. Globalmente, 76,8% da eletricidade gerada em 2024 foi isenta de emissões.

A expansão da capacidade renovável foi igualmente significativa: o sistema elétrico espanhol adicionou 7,3 GW de nova capacidade, o maior crescimento anual já observado. A tecnologia solar fotovoltaica contribuiu com 6 GW, tornando-se a principal fonte na matriz de geração, com 25,1% da capacidade instalada, enquanto a eólica somou 1,3 GW, atingindo 24,9% do total. No final de 2024, a capacidade instalada em Espanha ascendia a 129 GW, dos quais 66% eram de origem renovável, conforme ilustrado na Figura 7:

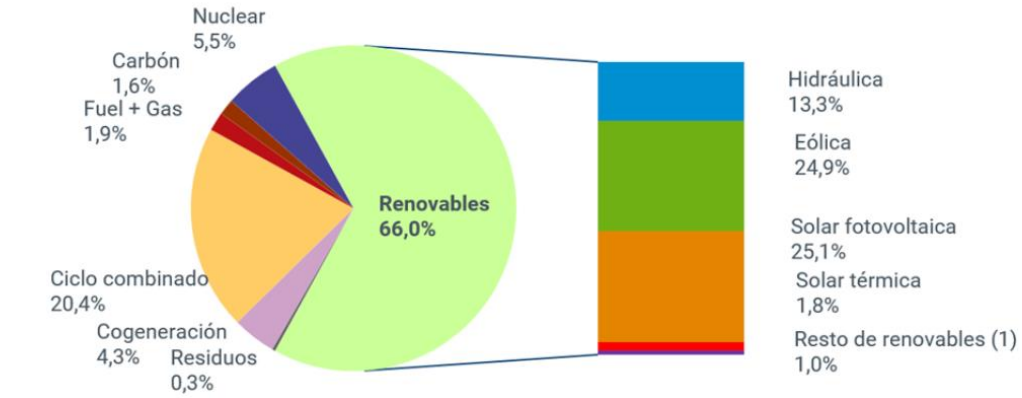


Figura 7: Estrutura de Capacidade na Espanha. Fonte: Red Eléctrica de España (2025)

A expansão da rede de transporte também avançou, com a adição de 487 km de novos circuitos, elevando o total para 45.674 km. Graças ao reforço das interligações com Portugal e França, Espanha encerrou o ano como exportador líquido de eletricidade pelo terceiro ano consecutivo, com um saldo positivo de 10.227 GWh (REE, 2025).

Este crescimento tem sido impulsionado por políticas públicas consistentes. Em setembro de 2024, o governo aprovou a atualização do Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNIEC 2023–2030), estabelecendo a meta de 76 GW de capacidade instalada solar fotovoltaica até 2030 (Energy Global, 2024). Entre os principais incentivos destaca-se o Decreto 477/2021, que disponibilizou 450 milhões de euros em subsídios distribuídos entre os setores residencial, comercial, industrial, agrícola e administração pública. O decreto promoveu ainda o autoconsumo com medidas como a libertação de 10% da capacidade de acesso nos nós da rede de transmissão e a limitação de novas solicitações sob procura.

Outras medidas incluíram benefícios fiscais, como a liberdade de amortização para instalações de autoconsumo, e a simplificação de procedimentos administrativos, incluindo a dispensa de autorização de exploração (à exceção do País Basco), fomentando a geração descentralizada.

No que respeita à energia eólica, o PNIEC manteve a meta de 62 GW de capacidade instalada até 2030, dos quais 3 GW correspondem à componente offshore (AEE, 2024).

Em junho de 2025 na Espanha, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica era de 34.329 MW e a capacidade instalada de energia eólica de 32.388 MW. (PV Magazine, 2025). Segundo o Ministério para transição ecológica e o desafio demográfico (MITECO), atualmente existem 107.500 MW de projetos em fase de licenciamento, dos quais 59.800 MW já tem autorização administrativa de construção. Com a entrada desses novos 60 GW nos próximos anos, a capacidade renovável total deverá dobrar, ultrapassando 120 GW e se

aproximando da meta de 160 GW estabelecida na PNIEC para 2030. (El Periódico de la Energía, 2025).

2.2.2 Portugal

Segundo a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), em 2024 Portugal produziu 43.980 GWh de eletricidade a partir de fontes renováveis, o que correspondeu a 76,2% da produção total líquida. Deste total, 32,9% foi assegurado por energia eólica e 16,1% por solar fotovoltaica. No final do mesmo ano, a potência instalada em fontes renováveis ascendia a 20.798 MW, com a energia eólica a representar 28,6% e a solar fotovoltaica 27,2% da capacidade total.

Em outubro de 2024, foi divulgada uma versão revista do Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030). A estratégia define como objetivo que 86% da eletricidade produzida até 2025 e 93% até 2030 provenha de fontes renováveis (Energy Global, 2024). No setor solar, prevê-se atingir mais de 20,8 GW de capacidade instalada até 2030, dos quais 5,7 GW serão descentralizados, o que implica uma taxa anual composta de crescimento (CAGR) de cerca de 20% face às metas para 2025.

Em relação à energia eólica, o plano nacional estabelece como metas 10,4 GW de capacidade onshore e 2 GW offshore até 2030, totalizando 12,4 GW de capacidade eólica instalada no país (Reuters, 2024).

Segundo o presidente da APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis, apesar do esforço de Portugal até a primeira metade de 2025, os objetivos só deverão ser atingidos em 2031 ou 2032. (Renascença, 2025). Segundo a DGEG, em maio de 2025 a energia solar fotovoltaica possuía 6.175 MW de capacidade instalada enquanto a energia eólica possuía 5.963 MW de capacidade instalada. (DGEG, 2025).

2.3 Energia Solar Fotovoltaica

A energia proveniente do sol constitui a fonte mais abundante e inesgotável disponível à escala terrestre, tanto sob a forma de calor como de luz. Através do chamado efeito fotovoltaico, a radiação solar pode ser convertida diretamente em eletricidade, um fenómeno que ocorre em certos materiais semicondutores, capazes de absorver a energia dos fotões e gerar corrente elétrica por meio da quebra das suas ligações atómicas (Mariano & Urbanetz Júnior, 2022).

A figura 8 mostra o ciclo de produção de electricidade a partir do efeito fotovoltaico:

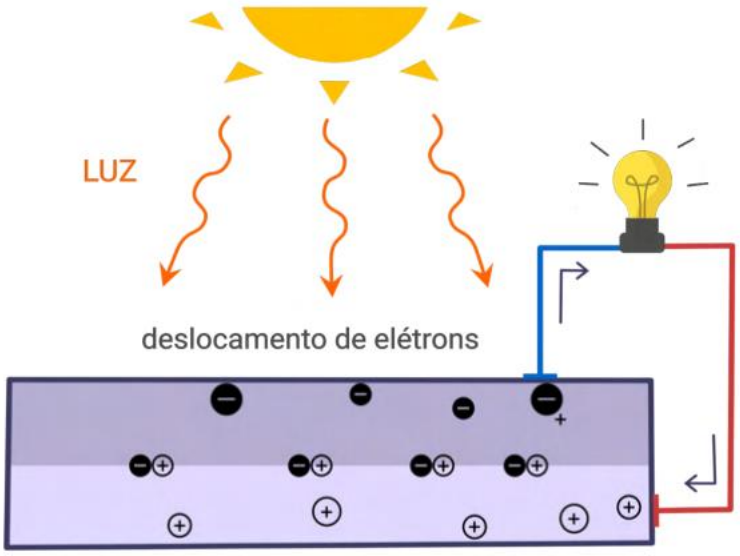


Figura 8: Esquema de produção solar fotovoltaica. Fonte: Mariano & Urbanetz Júnior (2022).

As células fotovoltaicas, também designadas por células solares, são dispositivos que convertem a luz solar em eletricidade através de processos que ocorrem a nível atómico nos materiais semicondutores que as compõem. Este fenómeno, conhecido como efeito fotovoltaico, foi descoberto em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel. No entanto, apenas em 1883 foram desenvolvidas as primeiras células fotovoltaicas, nos Estados Unidos, por Charles Fritts. Durante décadas, a sua produção revelou-se economicamente inviável devido aos elevados custos de fabrico, tendo a primeira aplicação tecnológica significativa ocorrido apenas na década de 1960, no contexto da corrida espacial, quando passaram a ser utilizadas como fonte de energia em satélites artificiais. A partir da década seguinte, o avanço tecnológico permitiu melhorar a eficiência e reduzir os defeitos de fabrico, resultando numa queda progressiva dos custos e viabilizando a sua utilização em larga escala (Universidade Federal de Sergipe [UFS], 2010).

A estrutura básica de uma célula fotovoltaica é constituída por silício, um material semicondutor que, em estado puro, não conduz eletricidade por não possuir eletrões livres à temperatura ambiente. Para que o silício adquira propriedades condutoras, é submetido a um processo de dopagem, no qual são adicionados outros elementos químicos. Quando dopado com fósforo, obtém-se silício do tipo N, caracterizado pela presença de eletrões livres; quando dopado com boro, origina-se o silício do tipo P, onde predominam lacunas de carga positiva. A junção entre estes dois tipos forma a chamada junção P-N, componente essencial da célula fotovoltaica. Ao incidir luz sobre essa junção, os fotões colidem com os eletrões do silício, fornecendo-lhes energia suficiente para migrarem da camada P para a camada N, gerando assim uma corrente elétrica que pode ser aproveitada nos terminais do dispositivo.

Para proteger a célula contra agentes externos como vento, chuva e poeira, aplica-se um revestimento de vidro com uma película fina de óxido transparente

e condutor, enquanto a parte traseira recebe uma camada anti-reflexiva, que minimiza perdas por reflexão da radiação solar. Estes dispositivos possuem elevada durabilidade e podem operar durante várias décadas. Importa sublinhar que a intensidade da corrente gerada depende da quantidade de luz incidente e da área de captação das células, e não do calor. Por essa razão, as células fotovoltaicas continuam a funcionar, embora com menor eficiência, mesmo em dias nublados (UFS, 2010).

A figura 9 mostra a estrutura das célular fotovoltaicas:

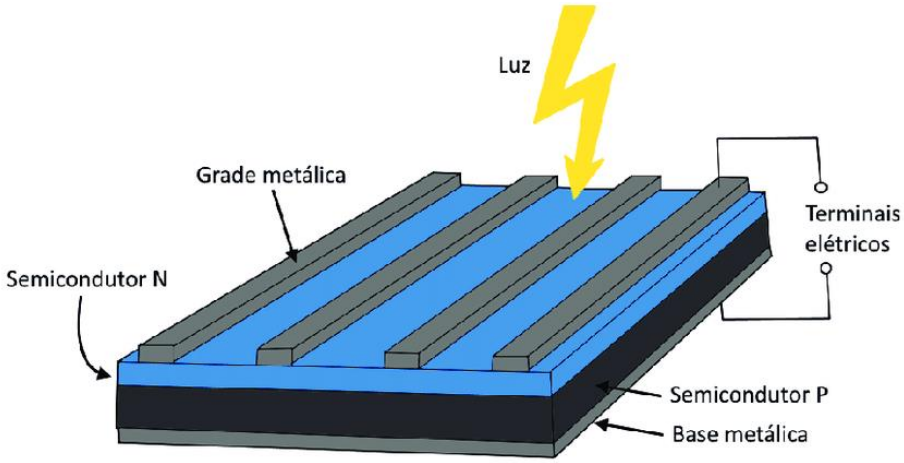


Figura 9: Estrutura das células fotovoltaicas. Fonte: Silva (2019)

O módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas interligadas e encapsuladas, dispostas sobre uma estrutura rígida. Normalmente, estas células são ligadas em série para produzir tensões mais elevadas. Na parte posterior do módulo encontra-se uma caixa de conexões elétricas, que permite a ligação dos cabos fornecidos com o próprio módulo, os quais possuem conectores padronizados (Mariano & Urbanetz Júnior, 2022).

As figuras 10 e 11 mostram como é formada a estrutura de um módulo fotovoltaico:



Figura 10: Estrutura dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Mariano & Urbanetz Júnior (2022).

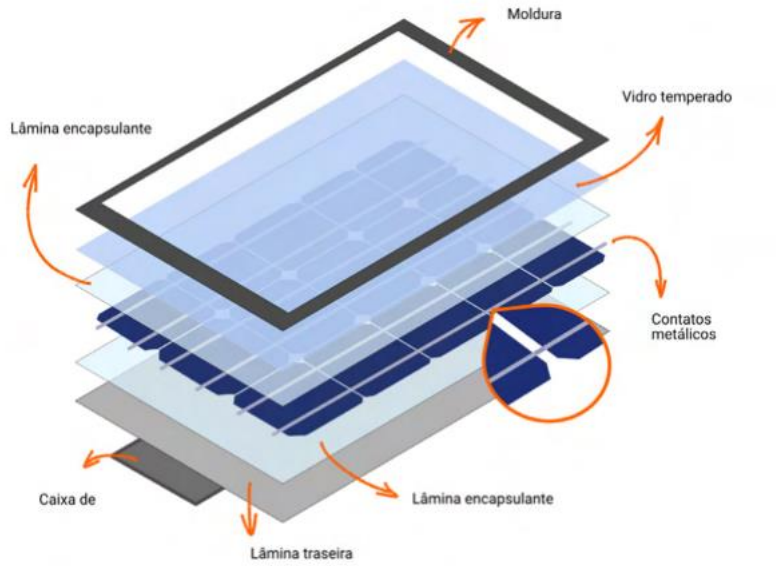


Figura 11: Estrutura dos módulos fotovoltaicos aberto. Fonte: Mariano & Urbanetz Júnior (2022).

Os painéis fotovoltaicos, por sua vez, são constituídos por um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente e montados de forma a formar uma única estrutura (Mariano & Urbanetz Júnior, 2022).

A figura 12 mostra a composição dos painéis fotovoltaicos:



Figura 12: Componentes de produção solar fotovoltaica. Fonte:

Mariano & Urbanetz Júnior (2022).

Além dos painéis solares, que efetivamente geram a energia, um sistema de geração solar fotovoltaica inclui também os inversores, responsáveis por transformar a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada na tensão desejada, bem como pela sincronização com a rede elétrica. Incluem-se ainda os suportes de fixação para os painéis e, caso desejado, baterias e controladores de carga para armazenamento da energia produzida (Neo Solar, s.d.).

A figura 13 mostra o esquemático de produção solar fotovoltaica com todos os componentes envolvidos:

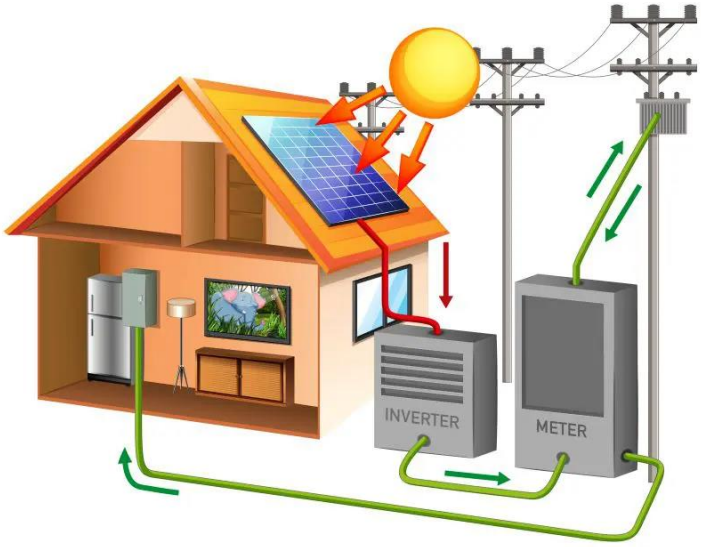


Figura 13: Esquema de produção solar fotovoltaica completo.
Adaptado de Grupo E4 (2023).

Entre as principais vantagens desta tecnologia destacam-se o facto de ser uma energia renovável, abundante e disponível para todos; a redução de custos a longo prazo, que compensa o investimento inicial elevado; o baixo impacto ambiental, contribuindo para a redução da pegada de carbono; a baixa manutenção, que requer apenas limpezas periódicas e inspeções ocasionais para garantir o bom funcionamento do sistema; a longa vida útil dos equipamentos, muitas vezes superior a 25 anos; e a autonomia energética, reduzindo a dependência das distribuidoras de eletricidade (TotalEnergies, 2024).

Por outro lado, as principais desvantagens incluem o custo inicial elevado, mesmo com os incentivos e financiamentos atualmente disponíveis; a intermitência da produção, com redução significativa da geração durante a noite ou em dias nublados; a necessidade de áreas disponíveis para a instalação dos painéis; e a dependência de locais com boa incidência solar para uma produção eficiente de energia (TotalEnergies, 2024).

2.4 Energia Eólica

A energia eólica é a energia contida nos ventos e apresenta como principais características o custo zero dos insumos e a disponibilidade infinita, o que torna o seu uso extremamente atrativo para diversas aplicações (Vian et al, 2021).

A história da geração de energia eólica inicia-se em 1887, na Escócia, com a construção do primeiro aerogerador capaz de abastecer um sistema de baterias para iluminar uma residência. Contudo, o primeiro registo de sincronização com a rede elétrica ocorreu apenas em 1931, na União Soviética, com um rotor de 30 metros e potência de 100 kW. Nos anos seguintes verificou-se uma grande evolução e, em 1941, foi inaugurada a primeira turbina com potência superior a um megawatt, nos EUA. No entanto, esta funcionou apenas durante 1.100 horas, devido a um defeito numa das pás, e o período de guerra impediu a sua manutenção. Durante quase quatro décadas não houve outra tentativa dessa escala, sendo que apenas entre as décadas de 1970 e 1980 foram desenvolvidas e implementadas várias iniciativas, especialmente nos EUA e na Dinamarca, com forte apoio tecnológico da Alemanha. Estes avanços levaram a que, no final dos anos 1990, a Europa se tornasse o maior mercado de geração de energia eólica do mundo (Vian et al., 2021).

Na geração de energia eólica, o insumo das turbinas é o vento, que não gera emissões de gases com efeito de estufa e não tem custo. Contudo, este recurso não é controlável nem pode ser armazenado, ao contrário da vazão das águas em represas para produção de usinas hidrelétricas, por exemplo. Para além da impossibilidade de controlo, o vento apresenta características de aleatoriedade quanto à velocidade e direção, dependendo fortemente da geografia do local, do clima e da altitude relativamente ao solo (Vian et al., 2021).

A figura 14 mostra uma usina eólica:



Figura 14: Usina Eólica. Fonte: Portal Solar, s.d.

A conversão de energia eólica em eletricidade envolve a transformação da energia cinética do vento em energia elétrica utilizável. Esta conversão ocorre a partir da interação entre a velocidade do vento e a área de superfície das lâminas do aerogerador, que giram em torno de um eixo quando o vento as impulsiona.

Essa rotação é então transferida para um gerador, que converte a energia mecânica em energia elétrica por meio de indução eletromagnética (Pinto, 2012).

Os aerogeradores modernos frequentemente utilizam sistemas de controlo que ajustam a posição das lâminas para maximizar a eficiência de acordo com as variações da velocidade do vento, de forma a manter a operação em níveis ótimos sem sobrecarregar o sistema. Além disso, é importante destacar que existem perdas inerentes ao processo de produção, e por isso, mesmo em condições ideais, nem toda a energia do vento pode ser convertida em eletricidade (Pinto, 2012).

Os componentes principais de um aerogerador são as lâminas, que geralmente possuem um design aerodinâmico que maximiza a captura de energia do vento e são feitas de materiais leves como fibra de vidro ou carbono; o rotor, que consiste em várias lâminas conectadas a um eixo, que gira com a força do vento, convertendo energia eólica em mecânica; a torre, cuja altura é crucial, pois a intensidade do vento costuma ser maior em altitudes mais elevadas, assim como sua estrutura, que garante a estabilidade e segurança; o sistema de transmissão, responsável por transferir a energia mecânica convertida pelo rotor para o gerador; o gerador, que converte a energia mecânica em energia elétrica; e o sistema de controlo, que permite que o sistema adapte sua orientação em relação ao vento, maximize a eficiência e proteja os componentes de condições climáticas adversas (Pinto, 2012).

A figura 15 mostra os principais componentes de um aerogerador:

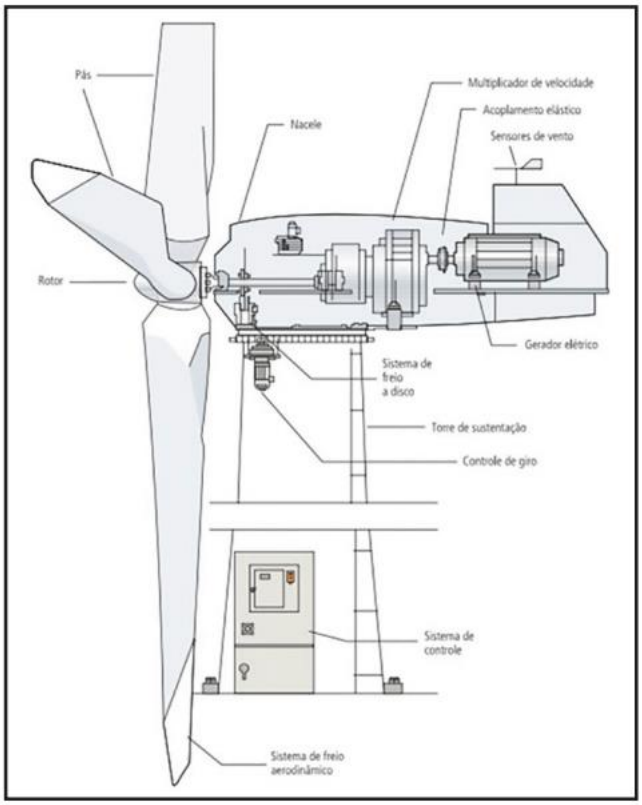


Figura 15: Componentes de produção de energia eólica. Fonte: Vian

et al., 2021.

Entre as principais vantagens da geração eólica destacam-se a não emissão de gases poluentes e a inexistência de produção de resíduos para o ambiente, assim como o facto de o insumo de geração — o vento — ser inesgotável. Entre as principais desvantagens contam-se a intermitência na produção, pois nem sempre o vento sopra quando necessário, o impacto visual considerável, com alteração da paisagem, e o impacto sonoro, devido ao ruído constante (Portal Solar, s.d.).

É importante destacar os diferentes tipos de geradores eólicos: os de eixo horizontal e os de eixo vertical. Os de eixo horizontal são os mais utilizados em todo o mundo, baseando-se nos tradicionais moinhos de vento e cataventos. Embora tenham um custo mais elevado, apresentam maior eficiência do que os de eixo vertical. Estes últimos são mais indicados para instalações menores e mais próximas do solo, pois funcionam melhor com ventos mais fracos e conseguem captar rajadas em qualquer direção. Além disso, são mais seguros, silenciosos e apresentam uma construção e manutenção mais simples.

A figura 16 mostra uma usina eólica com eixo horizontal e a figura 17 mostra uma usina eólica com eixo vertical:



Figura 16: Usina eólica com eixo horizontal. Fonte: Portal Solar, s.d.



Figura 17: Usina eólica com eixo vertical. Fonte: Portal Solar, s.d.

Outra classificação relevante diz respeito ao local de instalação das turbinas: as instaladas em terra são chamadas onshore, e as marítimas, offshore. As instalações onshore localizam-se em terra, normalmente perto da costa, onde os ventos são mais fortes. Devido ao ruído dos aerogeradores, precisam ser instaladas em locais afastados de centros populacionais, como áreas rurais despovoadas. Este tipo de instalação geralmente tem custos de instalação e operação mais baixos, e está mais próximo dos centros de consumo, o que reduz custos e perdas na transmissão.

As instalações offshore situam-se em alto mar, a vários quilómetros da costa, podendo ser fixadas diretamente no leito marinho ou em estruturas flutuantes ancoradas no fundo, feitas de metal ou concreto. Para locais com profundidades até 50 metros, as torres eólicas fixas são economicamente mais viáveis, enquanto estruturas flutuantes são indicadas para locais mais afastados, onde os ventos são mais fortes e constantes, aumentando a produtividade. Como não utilizam terra, os aerogeradores dessas instalações podem ser maiores e mais potentes que as versões costeiras, beneficiando da maior força e constância dos ventos marítimos, que não encontram barreiras como os ventos em terra. Isso permite projetos de maior dimensão e eficiência (Portal Solar, s.d.).

A figura 18 mostra uma usina eólica offshore:



Figura 18: Usina eólica offshore. Fonte: Portal Solar, s.d.

2.5 LCOEs no mundo

O Custo Nivelado de Energia (Levelized Cost of Energy – LCOE), também conhecido como custo nivelado de eletricidade (LEC), é uma métrica amplamente utilizada para avaliar e comparar diferentes métodos de produção de energia. Define-se como o custo total médio de construção e operação de um ativo por unidade de eletricidade gerada ao longo da sua vida útil, ou a representação do preço mínimo pelo qual a eletricidade gerada por um projeto deve ser vendida, de forma a cobrir todos os custos de produção. (Corporate Finance Institute, 2023a).

Um dos relatórios mais utilizados na estimativa de LCOEs por tecnologia é o da consultora Lazard, com enfoque nos Estados Unidos. Este relatório é reconhecido pela robustez metodológica, baseada em análise de custos de ciclo de vida, e pela avaliação de diferentes cenários, incluindo situações com e sem subsídios, bem como variações nas taxas de desconto. Na sua edição mais recente, publicada em junho de 2025, os LCOEs para projetos solares fotovoltaicos variaram entre 38 e 78 USD/MWh, enquanto os valores para projetos eólicos onshore se situaram entre 37 e 86 USD/MWh (Lazard, 2025).

Para o caso base, a análise parte de uma estrutura de capital composta por 60% de dívida a uma taxa anual de 8% e 40% de capital próprio a 12%, o que resulta numa taxa de desconto média ponderada (WACC) de 7,7% ao ano. O relatório não considera subsídios regionais e assume uma vida útil de 35 anos para solar fotovoltaica e 30 anos para eólica onshore. As Figuras 19 e 20 ilustram a evolução histórica dos LCOEs nos Estados Unidos, evidenciando uma tendência de queda sustentada: entre 2009 e 2025, registou-se uma redução média anual de 5% para a energia eólica onshore e de 11% para a solar fotovoltaica.

As figuras 19 e 20 mostram o histórico de LCOEs de tecnologias eólica e solar calculados pela Lazard desde 2009:

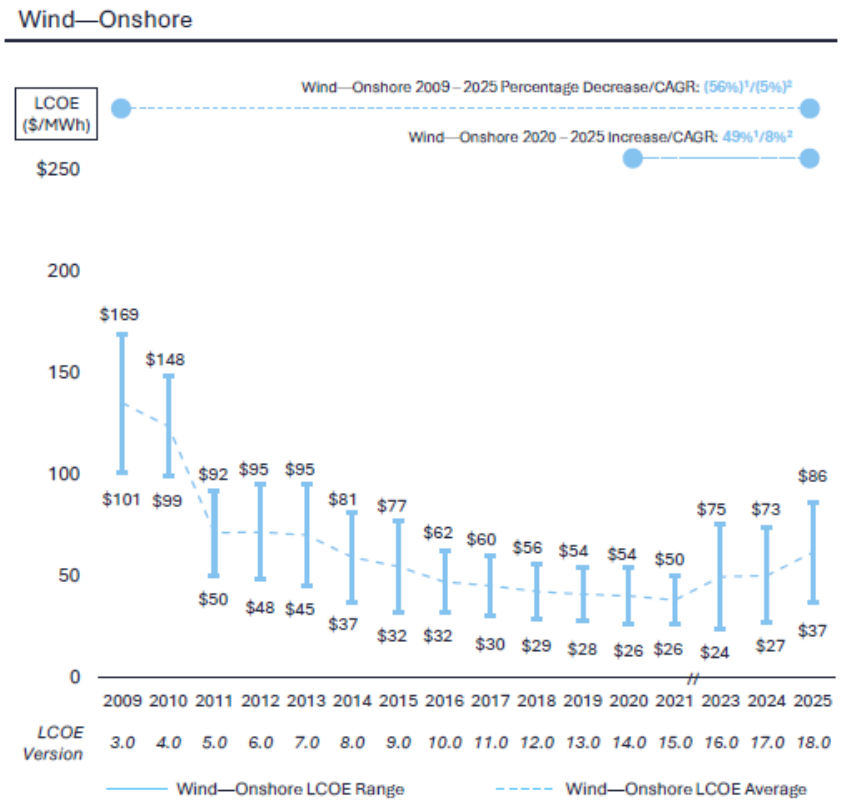


Figura 19: Histórico LCOEs eólica EUA. Fonte: Lazard (2025)

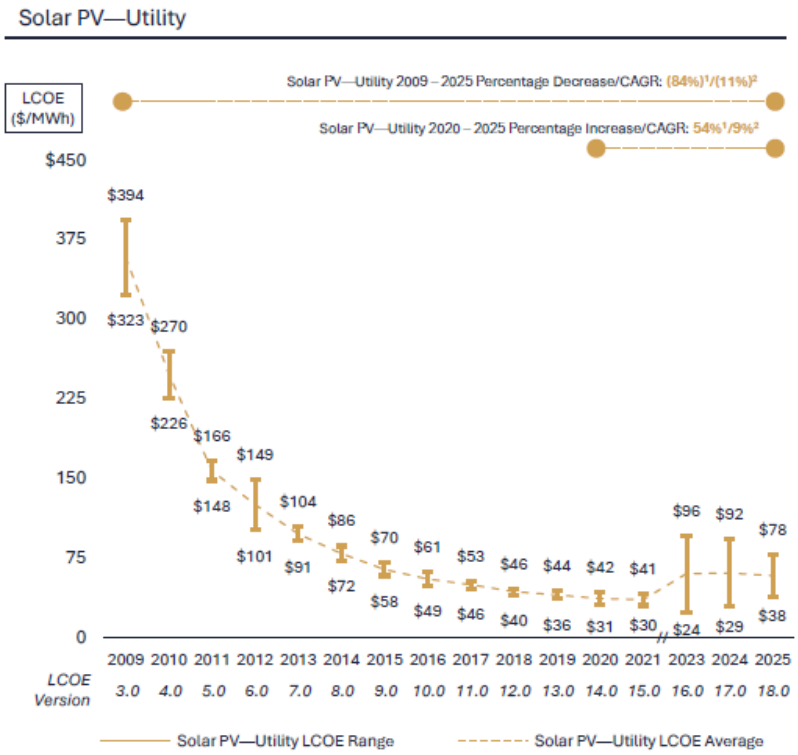


Figura 20: Histórico LCOEs solar EUA. Fonte: Lazard (2025).

Em complemento, o relatório Renewable Power Generation Costs in 2023, publicado pela IRENA – Agência Internacional de Energias Renováveis, constitui uma referência global para a estimativa de custos e LCOEs. Este estudo, que abrange projetos de energia renovável em diversas regiões do mundo, estima que, em 2023, o LCOE médio global da energia solar fotovoltaica foi de 44 USD/MWh, enquanto o da energia eólica onshore foi de 33 USD/MWh (IRENA, 2024). A análise da IRENA considera taxas de desconto específicas por região e tecnologia, assumindo uma vida útil de 25 anos para os projetos.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os LCOEs por região para ambas as tecnologias, evidenciando variações significativas em função do contexto geográfico e regulatório.

Tabela 1: LCOE Solar Fotovoltaico em 2023. Fonte: IRENA (2024)

Region	Country	LCOE in USD/MWh (2023)
Africa	South Africa	75
Asia	China	36
	India	48
	Japan	103
	Republic of Korea	67
Europe	Greece	46
	Netherlands	59
	Germany	63
	United Kingdom	69
	Portugal	46
	France	50
	Italy	54
Middle East	Saudi Arabia	44
North America	Canada	93
	Mexico	65
	United States	57
Oceania	Australia	34
South America	Brazil	59
	Chile	37

Tabela 2: LCOE Eólico Onshore em 2023. Fonte: IRENA (2024)

Region	LCOE in USD/MWh (2023)
Africa	48
Central America and the Caribbean	n/a
Eurasia	91
Europe	46
North America	38
Oceania	41
Other Asia	83
Other South America	56
Brazil	25
China	27
India	46

A Tabela 3 sintetiza os valores médios dos LCOEs para ambas as fontes nos dois relatórios analisados:

Tabela 3: Resumo dos LCOEs de diferentes fontes.

Valores em USD/MWh		Mínimo	Média	Máximo
Solar Fotovoltaico	Lazard	38	58	78
	IRENA	36	44	103
Eólico Onshore	Lazard	37	61	86
	IRENA	25	33	91

Observa-se que, no relatório da Lazard, de 2025, a energia solar fotovoltaica aparece como ligeiramente mais competitiva do que a eólica onshore, o que contrasta com os resultados da IRENA, onde a eólica apresenta menor custo nivelado. No entanto, ao observar os valores históricos de 2023 no relatório da Lazard, nota-se que a média do LCOE da solar fotovoltaica foi de cerca de 60 USD/MWh, enquanto a média para eólica onshore foi de aproximadamente 50 USD/MWh, o que está alinhado com os dados apresentados pela IRENA para o mesmo ano, apesar de serem baseados em regiões diferentes, sendo Lazard para os Estados Unidos e a IRENA para o mundo todo.

Tal divergência entre as fontes reforça a importância do contexto regional, da metodologia utilizada e das premissas adotadas na análise dos custos. Ambas as instituições, contudo, evidenciam a elevada competitividade destas duas tecnologias no atual panorama energético global.

3.Metodologia

A possibilidade de comparar os custos de geração de energia entre diferentes tecnologias assume grande importância, tanto para entidades privadas, no apoio à tomada de decisão, como para a formulação de políticas públicas. Cada tecnologia apresenta características específicas que influenciam o custo final da energia produzida, tais como o capital inicial, o tipo de combustível, a localização, o tratamento de resíduos, o controlo da poluição, a interligação à rede, a fiabilidade e a intermitência, entre outros. Por exemplo, as centrais hidroelétricas utilizam água como recurso renovável e gratuito, mas exigem investimentos iniciais muito elevados; as centrais a carvão e a gás natural apresentam custos operacionais mais baixos, mas implicam elevadas emissões poluentes; por sua vez, as tecnologias solar e eólica não requerem insumos nem produzem emissões durante a operação, mas enfrentam custos de capital significativos e desafios relacionados com a intermitência (Guimarães, 2019).

É neste cenário que a utilização do Custo Nivelado de Energia (Levelized Cost of Energy – LCOE) abordado no ponto 2.5 é essencial, pois permite a comparação direta entre diferentes tecnologias de geração de energia — como a solar, eólica ou nuclear — mesmo quando estas apresentam durações distintas, custos de capital e perfis de risco variados. O LCOE normaliza essas diferenças ao expressar um custo unitário da eletricidade gerada, ajustado pelo risco através da aplicação de uma taxa de desconto (Corporate Finance Institute, 2023a).

A fórmula do LCOE é expressa da seguinte forma (Eq.1):

$$LCOE = \frac{\sum \frac{(It+Mt+Ft)}{(1+r)^t}}{\sum \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Onde:

- It = investimento de capital (CAPEX)
- Mt = custos operacionais e de manutenção (OPEX)
- Ft = custos de combustível (quando aplicável)
- Et = eletricidade gerada no ano t
- r = taxa de desconto
- n = vida útil do projeto

A fórmula do LCOE é análoga à metodologia de cálculo do VPL, que corresponde à soma dos fluxos de caixa futuros (positivos e negativos), ao longo da vida útil de um projeto, descontados ao valor presente. A análise do VPL é amplamente utilizada na avaliação de investimentos, projetos empresariais, iniciativas de redução de custos ou quaisquer decisões estratégicas com impacto financeiro (Corporate Finance Institute, 2023b).

A taxa de desconto é um componente essencial nesta análise, servindo dois

propósitos: (i) ajustar o risco associado ao investimento e (ii) refletir o valor temporal do dinheiro. O primeiro prende-se com a variabilidade do risco entre diferentes projetos — por exemplo, os fluxos de caixa de um título do Tesouro dos EUA são mais seguros do que os de uma startup tecnológica, exigindo assim taxas de desconto diferentes. O segundo factor relaciona-se com a valorização do capital ao longo do tempo, dado que, devido à inflação, juros e custo de oportunidade, um euro hoje vale mais do que no futuro (Corporate Finance Institute, 2023b).

Dada a multiplicidade de variáveis técnicas e económicas envolvidas em projetos energéticos, o LCOE revela-se uma ferramenta fundamental. Ao condensar todos os elementos relevantes num único indicador, permite comparar tecnologias distintas e orientar a tomada de decisão em função da competitividade económica. Por esse motivo, a sua utilização generalizada tanto na academia como na indústria é justificável.

Neste contexto, o presente trabalho propõe a aplicação prática da metodologia do LCOE à realidade da Península Ibérica, com o objetivo de comparar o grau de competitividade económica entre projetos de energia solar fotovoltaica e de energia eólica, contribuindo para a identificação de possíveis tendências de alocação de investimento na região.

Para a definição dos parâmetros da fórmula, serão utilizados dados publicamente disponíveis, provenientes de relatórios de mercado e literatura científica. Estes dados serão tratados de forma a representar a média das condições dos projetos de energias renováveis desenvolvidos na Península Ibérica no ano de 2025.

Os relatórios da IRENA (Agência Internacional para as Energias Renováveis) constituirão uma das principais referências deste estudo, dado o seu reconhecimento internacional e a credibilidade metodológica das informações que disponibiliza. Os dados da IRENA são amplamente utilizados por empresas, investidores e investigadores em todo o mundo.

Adicionalmente, recorrer-se-á a informações publicadas pelo Banco Central Europeu (BCE), nomeadamente em relação a variáveis macroeconómicas como taxas de juro, inflação e políticas monetárias relevantes para a zona euro, que são fundamentais para a definição da taxa de desconto.

As variáveis recolhidas serão aplicadas à fórmula do LCOE de forma separada para cada tecnologia, permitindo a obtenção de um custo nivelado específico para os projetos de energia solar e para os projetos de energia eólica. A tecnologia que apresentar o menor LCOE será considerada, à luz dos pressupostos definidos, como a mais competitiva, uma vez que este indicador reflete o custo médio da eletricidade gerada ao longo da vida útil do projeto.

4.Aplicação do LCOE

4.1 Dados

4.1.1 Premissas gerais

A Tabela 4 apresenta um resumo das principais premissas gerais que serão utilizadas na aplicação da fórmula do LCOE, bem como as fontes e os anos de referência. Abaixo, descrevem-se com maior detalhamento as fontes de onde foram retiradas estas informações.

Tabela 4: Resumo das premissas gerais.

	Solar fotovoltaica		**Eólica onshore**		**Fonte**
	Portugal	**Espanha**	**Portugal**	**Espanha**	
CAPEX (USD/kW)	723	671	-	1.158	IRENA (2024)
OPEX (USD/kW/ano)	7,9	7,9	40	25	IRENA (2024)
Potência Total (GW)	5,7	32,4	5,9	32,1	REE (2025) e DGEG (2024)
Produção Total (GWh/ano)	9.292	44.894	18.989	61.267	REE (2025) e DGEG (2024)
Taxa de degradação (% ao ano)	0,27%	0,27%	0,50%	0,50%	Pascoal et Al (2021) / Staffel & Green (2014)
Vida útil dos sistemas (anos)	25	25	25	25	IRENA (2024)
Taxa de desconto (% ao ano)	4,2%	3,6%	3,2%	3,1%	IRENA (2023)

Os valores de CAPEX, OPEX e vida útil dos sistemas foram retirados do relatório Renewable Power Generation Costs in 2023, publicado pela IRENA (2024). Este relatório fornece detalhes sobre os investimentos iniciais necessários para cada tipo de projecto, bem como os custos de operação e manutenção ao longo da vida útil das centrais, abrangendo todas as despesas incorridas, incluindo operações técnicas e comerciais, seguros, manutenções preventivas e correctivas, rendas de terrenos, impostos locais, entre outros. É importante salientar que estes valores não contemplam quaisquer custos com combustível, uma vez que os insumos utilizados — o vento e a luz solar — são disponibilizados gratuitamente pela natureza.

No que respeita à taxa de desconto, foram utilizados como referência os valores constantes do relatório The Cost of Financing for Renewable Power, também publicado pela IRENA (2023). Este relatório apresenta estimativas de custo médio ponderado de capital (WACC), com base em dados recolhidos junto de investidores, financiadores e promotores de projectos em mais de 100 países. As taxas reportadas constituem uma referência sólida para o presente trabalho, uma vez que incorporam os riscos regulatórios, financeiros e tecnológicos, reflectindo de forma mais precisa a realidade específica de cada país.

Relativamente às premissas de potência instalada e energia gerada, foram utilizadas as informações nacionais agregadas já apresentadas no Capítulo 2, disponibilizadas pela Red Eléctrica de España (2025) e pela DGEG (2024). Importa referir que a produção de energia eólica offshore em ambos os países é desprezável, representando menos de 1% do total da energia eólica gerada. Por esse motivo, para efeitos deste trabalho, considera-se que toda a produção de energia eólica é de origem onshore.

É igualmente relevante considerar a taxa de degradação dos sistemas, que representa a perda gradual de eficiência na geração de energia ao longo do tempo. Para sistemas fotovoltaicos, será adoptada a taxa de 0,27% ao ano, conforme identificado no estudo de Pascual et al. (2021), realizado ao longo de 10 anos em projectos localizados na Península Ibérica. No caso da energia eólica, será utilizada a taxa de 0,5% ao ano, com base no estudo de Staffell & Green (2014), que analisou dados de mais de uma década relativos a projectos no Reino Unido.

4.1.2 Taxa de Inflação

Dado que as bases de custo de referência têm como ponto de partida o final de 2023, é imprescindível considerar a inflação verificada entre 2023 e 2025, bem como as projecções para os anos subsequentes, ao longo da vida útil do projecto.

O quadro abaixo apresenta as taxas de inflação projectadas, de acordo com os dados do Banco Central Europeu (BCE, 2025). Para os anos 2024 a 2027, são utilizadas as taxas realizadas e as projecções do Harmonised Index of Consumer Prices (HICP) — principal indicador de inflação da área do euro. A partir de 2028, será adoptada a meta oficial de inflação do BCE.

Tabela 5: Inflação anual.

Ano	Inflação
2024	2,5%
2025	2,3%
2026	1,9%
2027	2,0%
2028 em diante	2,0% ao ano

Esta abordagem garante que os custos estimados reflitam de forma mais realista a evolução do poder de compra ao longo do tempo, contribuindo para uma análise económica mais precisa e fundamentada.

4.1.3 Taxa de Câmbio

Tendo em conta que os custos de referência estão expressos em dólares americanos e reportam-se ao final de 2023, é necessário considerar a taxa de câmbio média do período. De acordo com o BCE, essa taxa foi de 1,0813 USD/EUR.

A aplicação desta taxa de conversão assegura a uniformidade dos valores ao longo do trabalho e permite a sua análise em euros, garantindo a comparabilidade entre os diferentes custos considerados.

4.2 Tratamento dos dados e definição de premissas

Como referido anteriormente, a fórmula do Custo Nivelado de Energia (LCOE) baseia-se na razão entre o somatório dos custos totais ao longo da vida útil do projecto, actualizados a valor presente com uma taxa de desconto, e o somatório de toda a energia gerada durante o mesmo período, igualmente actualizada a valor presente.

Desta forma, torna-se evidente que, para a realização do cálculo, é necessário projectar todos os custos e toda a energia gerada pelo projecto ao longo da sua vida útil.

Com o objectivo final de comparar diferentes tecnologias, os cálculos serão organizados em dois blocos de pressupostos: o primeiro correspondente ao custo nivelado de energia de projectos com tecnologia solar fotovoltaica na Península Ibérica, e o segundo relativo ao custo nivelado de energia de projectos com tecnologia eólica onshore, igualmente na Península Ibérica.

A definição dos pressupostos basear-se-á nos dados recolhidos e apresentados no ponto anterior (4.1).

O trabalho considerará o ano de 2026 como início da projecção. Como alguns dos dados recolhidos dizem respeito a períodos distintos, estes deverão ser devidamente tratados e ajustados, tendo em conta factores relevantes, como por exemplo a inflação ao longo do tempo.

4.2.1 Energia produzida

Para a definição da energia produzida no ano 1 serão utilizadas as referências apontadas na tabela 4, que totalizarão 54.186 GWh de produção solar e 80.256 GWh de produção eólica para a Península Ibérica.

Para a projecção da energia produzida no período compreendido entre o ano 2 e o ano 25, serão aplicadas as taxas de degradação correspondentes a cada tecnologia indicadas na tabela 4.

Como exemplo, o quadro abaixo apresenta as quantidades de energia em GWh para os anos 1 a 5, seguindo a mesma curva de degradação nos anos subsequentes.

Tabela 6: Produção Anual

Ano	1	2	3	4	5
Produção Solar Península Ibérica (GWh)	54.186	54.040	53.894	53.749	53.604

Produção Eólica Península Ibérica (GWh)	80.256	79.855	79.455	79.058	78.663

4.2.2 Investimento de capital (CAPEX)

Para referência dos custos com investimento inicial serão utilizadas as referências da tabela 4, que deverão ser ajustados pelo câmbio e aplicadas as inflações previstas para 2024 e 2025, resultando nas referências apontadas na tabela 7:

Tabela 7: Investimentos com base 2025

Investimento Solar Espanha (2025)	651	EUR/kW
Investimento Solar Portugal (2025)	701	EUR/kW
Investimento Eólica Espanha (2025)	1.123	EUR/kW
Investimento Eólica Portugal (2025)	1.123	EUR/kW

Essas referências multiplicadas pela capacidade de cada potência indicada na tabela 4 resultarão nos seguintes investimentos totais indicados na tabela 8:

Tabela 8: CAPEX

Investimento Península Ibérica Solar	25.035.041	EURk
Investimento Península Ibérica Eólica	42.756.609	EURk

4.2.3 Custos de Operação e Manutenção (OPEX)

Da mesma forma, os valores de referência da tabela 4 deverão ser convertidos para euros com base na taxa de câmbio e ajustados pela inflação prevista para os anos de 2024 e 2025, o que resultará nas novas referências indicadas na tabela 9:

Tabela 9: Custos com base 2025

Custos Solar Espanha (2025)	7,7	EUR/kW/ano
Custos Solar Portugal (2025)	7,7	EUR/kW/ano
Custos Eólica Espanha (2025)	24,2	EUR/kW/ano
Custos Eólica Portugal (2025)	38,8	EUR/kW/ano

Essas referências multiplicadas pelas potências indicadas na tabela 4 resultarão nos custos totais anuais no ano 1 que estão indicados na tabela 10:

Tabela 10: OPEX no ano 1

Custos Península Ibérica Solar	291.391	EURk/ano

Custos Península Ibérica Eólica	1.009.450	EURk/ano

Estes custos deverão ser actualizados anualmente ao longo da vida útil dos sistemas, tendo por base as projecções de inflação a partir de 2026. A título de exemplo, a tabela abaixo apresenta a projecção dos custos para os três primeiros anos, sendo que os valores dos anos subsequentes seguirão a mesma trajectória de inflação até o ano 25, que corresponde à vida útil estimada dos sistemas para ambas as tecnologias.

Tabela 11: Custos anuais

Ano	1	2	3
Custos Península Ibérica Solar (EURk)	291.391	296.927	302.866
Custos Península Ibérica Eólica (EURk)	1.009.450	1.028.630	1.049.202

4.2.4 Taxa de desconto

Para se determinar a taxa de desconto adequada para cada uma das tecnologias na Península Ibérica, é necessário ponderar os valores nacionais indicados na tabela 4 com base na capacidade instalada de cada tecnologia em cada país, também indicados na tabela 4. Essa ponderação resulta nas taxas de desconto indicadas na tabela 12:

Tabela 12: Taxas de desconto Península Ibérica

Taxa Solar Península Ibérica	3,7%	ao ano
Taxa Eólica Península Ibérica	3,1%	ao ano

4.3 LCOE

Com todas as premissas estabelecidas no capítulo anterior, é agora possível proceder com o cálculo dos resultados correspondentes a cada um dos blocos de forma separada, com o objectivo de realizar a comparação final do estudo.

4.3.1 Projetos Solar Fotovoltaicos

Apresentam-se abaixo as projecções de cada uma das variáveis a serem integradas nas fórmulas.

Tabela 13: Projeções solar anos 0 a 10

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento (EURk)	25.035.041										
Custos (EURk)		291.391	296.927	302.866	308.923	315.102	321.404	327.832	334.388	341.076	347.898
Energia Produzida (GWh)		54.186	54.040	53.894	53.749	53.604	53.459	53.315	53.171	53.027	52.884

Tabela 14: Projeções solar anos 11 a 20

Ano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Investimento (EURk)										
Custos (EURk)	354.856	361.953	369.192	376.576	384.107	391.789	399.625	407.617	415.770	424.085
Energia Produzida (GWh)	52.741	52.599	52.457	52.315	52.174	52.033	51.892	51.752	51.613	51.473

Tabela 15: Projeções solar anos 21 a 25

Ano	21	22	23	24	25
Investimento (EURk)					
Custos (EURk)	432.567	441.218	450.043	459.043	468.224
Energia Produzida (GWh)	51.334	51.196	51.057	50.920	50.782

Estas projecções serão actualizadas para valor presente com base na taxa de desconto de 3,7% (r), considerando o valor de cada um dos respectivos períodos (t):

$$LCOE\ Solar = \frac{\frac{(25.035.041\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^0} + \frac{(291.391\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^1} + \frac{(296.927\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^2} + \cdots + \frac{(468.224\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^{25}}}{\frac{0}{(1+0{,}037)^0} + \frac{(54.186\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^1} + \frac{(54.040\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^2} + \cdots + \frac{(50.782\ x\ 1000)}{(1+0{,}037)^{25}}}$$

$$LCOE\ Solar = 36{,}25\ EUR/MWh$$

O valor de 36,25 EUR/MWh enquadra-se nas faixas apresentadas por ambos os relatórios de LCOE a nível mundial referidos no Capítulo 2.5, aproximando-se dos valores mínimos indicados no relatório da Lazard, de 35 EUR/MWh (38 USD/MWh) — baseado em custos de 2025 para a região dos EUA — e no relatório da IRENA, de 33 EUR/MWh (36 USD/MWh), com base de custos de 2023.

4.3.2 Projetos Eólicos

Seguem-se, de igual modo, as projecções a aplicar na fórmula do segundo bloco.

Tabela 16: Projeções eólica anos 0 a 10

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento (EURk)	42.756.609										
Custos (EURk)		1.009.450	1.028.630	1.049.202	1.070.186	1.091.590	1.113.422	1.135.690	1.158.404	1.181.572	1.205.204
Energia Produzida (GWh)		80.256	79.855	79.455	79.058	78.663	78.270	77.878	77.489	77.101	76.716

Tabela 17: Projeções eólica anos 11 a 20

Ano	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Investimento (EURk)										
Custos (EURk)	1.229.308	1.253.894	1.278.972	1.304.551	1.330.642	1.357.255	1.384.400	1.412.088	1.440.330	1.469.137
Energia Produzida (GWh)	76.332	75.951	75.571	75.193	74.817	74.443	74.071	73.700	73.332	72.965

Tabela 18: Projeções eólica anos 21 a 25

Ano	21	22	23	24	25
Investimento (EURk)					
Custos (EURk)	1.498.519	1.528.490	1.559.059	1.590.241	1.622.045
Energia Produzida (GWh)	72.600	72.237	71.876	71.517	71.159

Estas serão igualmente trazidas a valor presente com base na taxa de desconto de 3,1% (r), tendo em conta o valor de cada um dos respectivos períodos (t):

$$LCOE\ Eólico = \frac{\frac{(42.756.609\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^0} + \frac{(1.009.450\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^1} + \frac{(1.028.630\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^2} + \cdots + \frac{(1.622.045\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^{25}}}{\frac{0}{(1+0{,}031)^0} + \frac{(80.256\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^1} + \frac{(79.855\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^2} + \cdots + \frac{(71.159\ x\ 1000)}{(1+0{,}031)^{25}}}$$

$$LCOE\ Eólico = 49{,}01\ EUR/MWh$$

O valor de 49,01 EUR/MWh encontra-se dentro das faixas apresentadas por ambos os relatórios de LCOE a nível mundial referidos no Capítulo 2.5, aproximando-se das faixas médias do relatório da Lazard, que indica um valor de 56,4 EUR/MWh (61 USD/MWh) — com base de custos de 2025 para a região dos EUA — e do relatório da IRENA, que apresenta um valor médio de 30,5 EUR/MWh (33 USD/MWh), com base de custos de 2023.

4.3.3 Avaliação dos Resultados obtidos

Após a aplicação da fórmula em ambos os blocos, verifica-se um LCOE de 36 EUR/MWh para os projectos de energia solar fotovoltaica e de 49 EUR/MWh para os projectos de energia eólica onshore. Estes resultados demonstram que, no actual contexto dos países da Península Ibérica, os projectos de energia solar fotovoltaica se apresentam como mais competitivos do ponto de vista económico, em comparação com os projectos de energia eólica. Tal cenário poderá indicar uma tendência de maior concentração de recursos por parte dos investidores em projectos solares nos próximos anos.

A maior competitividade dos projectos solares poderá reflectir o efeito das políticas de incentivo e dos objectivos estratégicos recentemente definidos pelos governos, conforme exposto no subponto 2.2. Nestes instrumentos, as metas estabelecidas para o crescimento da energia solar fotovoltaica revelam-se mais ambiciosas do que aquelas previstas para a energia eólica.

Essa preferência pode estar relacionada com a maior complexidade envolvida no desenvolvimento de projectos eólicos, em comparação com os solares. Enquanto um projecto solar pode obter licenciamento em menos de dois anos, os projectos eólicos podem demorar entre sete a nove anos para concluir esse processo (World Economic Forum, 2024).

De acordo com a Euractiv (2023), os processos de planeamento e licenciamento, frequentemente complexos e demorados, constituem um dos principais entraves ao cumprimento das metas de energias renováveis da União

Europeia até 2030. Até ao final de 2022, existiam mais de 80 GW de projectos eólicos pendentes de licenciamento em toda a Europa.

Adicionalmente, projecções tecnológicas indicam avanços significativos na eficiência dos painéis solares ao longo da próxima década, com produtos premium a alcançarem entre 28% e 30% de eficiência até 2030, o que representa um aumento substancial face à eficiência média actual de 15% a 20% (Moserbaer Solar, 2024).

Segundo o NREL (2023), tecnologias aplicadas à energia eólica — como lâminas mais longas, torres mais altas e wake steering (ajuste da direcção das turbinas para optimização do fluxo de vento) — poderão proporcionar ganhos anuais na produção de 1% a 2%, o que é consideravelmente inferior aos ganhos potenciais esperados para a tecnologia solar fotovoltaica.

5.Conclusão

5.1 Observações Finais

O presente trabalho atingiu o seu objectivo principal, que consistia em comparar a competitividade entre projectos de energia solar fotovoltaica e projectos de energia eólica na Península Ibérica, com base na aplicação da fórmula do Custo Nivelado de Energia (LCOE). Esta metodologia permite incorporar as condições tecnológicas, operacionais, regulatórias e os incentivos governamentais associados a cada tecnologia.

Através da sua aplicação, concluiu-se que os projectos de energia solar fotovoltaica apresentam actualmente um LCOE na ordem dos 36 EUR/MWh, revelando-se mais competitivos face aos projectos de energia eólica, cujo custo se situou em cerca de 49 EUR/MWh. Estes resultados indicam uma tendência crescente para investimentos em tecnologia solar fotovoltaica nos próximos anos.

Este resultado não evidencia apenas o diferencial de custos associado à tecnologia solar, mas também a menor complexidade dos processos de licenciamento, a maior facilidade de implementação e o menor prazo entre o início do desenvolvimento e a entrada em operação, quando comparados com a tecnologia eólica.

5.2 Limitações e Trabalhos Futuros

O foco do estudo esteve na aplicação prática da metodologia de cálculo do LCOE a diferentes tecnologias. Apesar da abordagem objectiva e fundamentada, o presente trabalho apresenta algumas limitações que importa considerar. Em primeiro lugar, embora as premissas utilizadas sejam provenientes de fontes reconhecidas e de referência internacional, a sua simplificação oculta a complexidade inerente a cada uma, como, por exemplo, a desagregação dos componentes de custo e a variação deles ao longo da vida útil do projecto. Não foram, por exemplo, considerados os períodos de desembolso do CAPEX, nem eventuais fases específicas de manutenção mais intensiva, como substituição de equipamentos, que implicam custos superiores em determinados anos.

Outro aspecto relevante é que o estudo assenta em premissas macroeconómicas projectadas por entidades credíveis, como o Banco Central Europeu. Contudo, tratando-se de projecções, existe uma inevitável incerteza quanto ao cenário futuro, o que pode fazer com que os resultados efectivamente observados divirjam significativamente daqueles aqui apresentados.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a aplicação da mesma metodologia a outras regiões do mundo, ou ainda o aprofundamento do tema com uma abordagem mais detalhada dos custos e da operação, nomeadamente

através de análises de sensibilidade com diferentes cenários e premissas macroeconómicas alternativas.

Por fim, espera-se que este trabalho sirva de referência para futuros estudos académicos nas áreas da energia e da economia, bem como apoie a tomada de decisão por parte de empresas e organismos governamentais.

Referências

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). Sixth assessment synthesis report: Climate change 2023. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr

Andrade, A. L. C. de, & Mattei, L. F. (2012). O trinômio economia, energia e meio ambiente. Revista de Economia, 38(2), 35–58. Disponível em https://periodicos.ufba.br/index.php/revnexeco/article/download/7955/5071

Lee, C.-Y., & Ahn, J. (2020). Stochastic Modeling of the Levelized Cost of Electricity for Solar PV. Energies, 13(11), 3017. Disponível em: https://doi.org/10.3390/EN13113017

Araujo, L. M., Cordeiro Neto, M. dos R., & Seguin, E. (2020). A busca da efetividade do Acordo de Paris. Revista Direito, Estado e Sociedade, (54). https://doi.org/10.17808/des.54.768

Costa, P. H. H. de L., & Batista, M. A. (2020). Acordo de Paris: uma análise sob a ótica do direito dos tratados. Cadernos Eletrônicos Direito Internacional sem Fronteiras, 2(1), e20200106. https://doi.org/10.5281/zenodo.4382217

Mravcová, A. (2025). Assessing the effectiveness of international climate agreements in mitigating global warming. Studia Ecologiae et Bioethicae, 23(1), 51–62. https://doi.org/10.21697/seb.5835

Friedman, L. (2023, 13 de Dezembro). COP28 draft text signals fossil fuel phase-out. Axios. https://www.axios.com/2023/12/13/cop28-draft-text-fossil-fuels-transition-away

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). World energy transitions outlook 2024. https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/World-energy-transitions-outlook-2024

International Energy Agency (IEA). (2024). Renewables 2024: Analysis and Forecast to 2030. Paris: IEA. Disponível em: https://www.iea.org/reports/renewables-2024

Red Eléctrica de España. (2025, março 5). Electricity generation from renewable energies in Spain grows by 10.3% in 2024, reaching record levels. https://www.ree.es/en/press-office/news/press-release/2025/03/electricity-generation-from-renewable-energies-in-spain-grows-by-10-3-in-2024-reaching-record-levels

Direção-Geral de Energia e Geologia. (2024, dezembro). Estatísticas rápidas – dezembro de 2024. https://www.dgeg.gov.pt/media/e0jgmqwz/dgeg-arr-2024-12.pdf

Energy Global. (2024, 18 de novembro). Shining a spotlight on Iberian renewable energy advances. https://www.energyglobal.com/special-reports/18112024/shining-a-spotlight-on-iberian-renewable-energy-advances/

Asociación Empresarial Eólica (AEE). (2024, 26 de junho). El sector eólico aplaude la aprobación del nuevo RD de eólica marina como uno de los

motores para alcanzar los ambiciosos objetivos del nuevo PNIEC. https://aeeolica.org/el-sector-eolico-aplaude-la-aprobacion-del-nuevo-rd-de-eolica-marina-como-uno-de-los-motores-para-alcanzar-los-ambiciosos-objetivos-del-nuevo-pniec/

Reuters. (2024, 22 de julho). Portugal plans to raise share of renewables in electricity consumption to 93% by 2030. https://www.reuters.com/business/energy/portugal-plans-raise-share-renewables-electricity-consumption-93-by-2030-2024-07-22/

Mariano, J. D. A., & Urbanetz Júnior, J. (2022). Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais. Atena Editora. https://atenaeditora.com.br/index.php/catalogo/ebook/energia-solar-fotovoltaica-principios-fundamentais

Universidade Federal de Sergipe. (2010, 8 de junho). Células fotovoltaicas, você sabe o que são? https://www.ufs.br/conteudo/3074-c-lulas-fotovoltaicas--voc--sa

NeoSolar. (s.d.). Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes. https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes

TotalEnergies. (2024). Energia solar: o que é, como funciona, vantagens e desvantagens. https://totalenergies.com.br/blog/energia-solar

Vian, Â., Tahan, C. M. V., Aguilar, G. J. R., Gouvea, M. R., & Gemignani, M. M. F. (2021). Energia eólica: Fundamentos, tecnologia e aplicações. Blucher. https://doi.org/10.5151/9786555500585-01

Pinto, M. O. (2012). Fundamentos de energia eólica. LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora. https://www.livros1.com.br/pdf-read/livar/FUNDAMENTOS-DE-ENERGIA-E%C3%93LICA.pdf

Portal Solar. (s.d.). Energia eólica. Recuperado em 29 de maio de 2025, de https://www.portalsolar.com.br/energia-eolica

Guimarães, J. (2019). A transição energética e o futuro do setor elétrico brasileiro. FGV Energia. Recuperado em 29 de maio de 2025, de https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opiniao_-_transicao_energetica.pdf

Corporate Finance Institute. (2023a). Levelized Cost of Energy (LCOE). Recuperado em 29 de maio de 2025, de https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/levelized-cost-of-energy-lcoe/

Corporate Finance Institute. (2023b). Net present value (NPV). Recuperado em 29 de maio de 2025, de https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/net-present-value-npv/

Guia Indústria. (2023). Energia solar e eólica: O futuro sustentável da indústria. https://www.guiaindustria.com.br/energia-solar/energia-solar-e-eolica-o-futuro-sustentavel-da-industria/

International Renewable Energy Agency. (2024, setembro). Renewable Power Generation Costs in 2023. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/Publications/2024/Sep/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2023

International Renewable Energy Agency. (2023). The cost of financing for

renewable power: An analysis of the drivers and impacts of financing costs in renewable electricity generation. Abu Dhabi: IRENA. https://www.irena.org/publications/2023/May/The-Cost-of-Financing-for-Renewable-Power

European Central Bank. (2025). Harmonised index of consumer prices (HICP). BCE Estatísticas – Preços e custos. Recuperado de https://www.ecb.europa.eu/stats/macroeconomic_and_sectoral/hicp/more/html/data.pt.html?utm_source=chatgpt.com

European Central Bank. (2025, março). ECB staff macroeconomic projections for the euro area, March 2025. Frankfurt am Main: ECB. Recuperado de https://www.ecb.europa.eu/press/projections/html/ecb.projections202503_ecbstaff~106050a4fa.pt.html#toc7

European Central Bank. (2022). Price stability. Recuperado em 6 de junho de 2025, de https://www.ecb.europa.eu/mopo/strategy/pricestab/html/index.en.html

European Central Bank. (2025). Gráfico das taxas de câmbio do euro – Dólar americano (USD). Recuperado em 6 de junho de 2025, de https://www.ecb.europa.eu/stats/policy_and_exchange_rates/euro_reference_exchange_rates/html/eurofxref-graph-usd.pt.html

Pascual, J., Martínez-Moreno, F., García, M., Marcos, J., Marroyo, L., & Lorenzo Pigueiras, E. (2021, agosto). Long-term degradation rate of crystalline silicon PV modules at commercial PV plants: An 82-MWp assessment over 10 years. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 29(12), 1451–1463. https://doi.org/10.1002/pip.3456

Staffell, I., & Green, R. (2014). How does wind farm performance decline with age? Renewable Energy, 66, 775–786. https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.041

Euractiv. (2023, April 12). It takes longer to permit a wind farm than to build it. Retrieved June 10, 2025, from https://www.euractiv.com/section/eet/opinion/it-takes-longer-to-permit-a-wind-farm-than-to-build-it/

World Economic Forum. (2024, September 12). Permitting is killing renewables – here's how to fix it. https://www.weforum.org/agenda/2024/09/permitting-is-killing-renewables-heres-how-to-fix-it/

BloombergNEF. (2025). New Energy Outlook 2025 – Executive Summary. Bloomberg Finance L.P. https://about.bnef.com/insights/clean-energy/new-energy-outlook/

REN21. (2025). Renewables 2025 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. https://www.ren21.net/reports/global-status-report/

Ember. (2025). Global Electricity Review 2025. https://ember-climate.org/insights/research/global-electricity-review-2025/

McKinsey & Company. (2024). Global Energy Perspective 2024: Trends, technologies, and transition. https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/global-energy-perspective

Lazard (2025). Levelized Cost of Energy + (LCOE+).

https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus-lcoeplus/

Renascença (2025). Energia eólica cresce, mas Portugal continua longe das metas climáticas. https://rr.pt/noticia/economia/2025/06/15/energia-eolica-cresce-mas-portugal-continua-longe-das-metas-climaticas/429289

Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). (2025). Estatísticas rápidas das renováveis. https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/publicacoes/estatisticas-rapidas-das-renovaveis/

PV Magazine. (2025). Solar leads Spain's power mix in May. pv-magazine.com. https://www.pv-magazine.com/2025/06/03/solar-was-spains-primary-electricity-source-in-may/

El Periódico de la Energía. (2025). Nuevo boom renovable en España: otros 60 GW de proyectos de solar y eólica listos para construir. https://elperiodicodelaenergia.com/nuevo-boom-renovable-en-espana-otros-60-gw-de-proyectos-de-solar-y-eolica-listos-para-construir/

Moserbaer Solar. (2024). Solar panel efficiency breakthrough: How policy changes are shaping tomorrow's PV technology. Recuperado de https://www.moserbaersolar.com/policy-and-regulatory-framework/solar-panel-efficiency-breakthrough-how-policy-changes-are-shaping-tomorrows-pv-technology/

National Renewable Energy Laboratory. (2023, September 25). Technology advancements could unlock 80% more wind energy potential during this decade. NREL.gov. https://www.nrel.gov/news/detail/program/2023/technology-advancements-could-unlock-80-more-wind-energy-potential-during-this-decade

Silva, G. C. da. (2019). Energia solar fotovoltaica: Desenvolvimento e aplicações [Figura]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/335629510_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_DESENVOLVIMENTO_E_APLICACOES

Grupo E4. (2023). Créditos de energia solar: O que são e como conseguir? Grupo E4. https://grupoe4.com.br/creditos-de-energia-solar-o-que-sao-e-como-conseguir/