



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO**  
**ECONOMIA E POLÍTICAS PÚBLICAS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

DISSERTAÇÃO

O CONTRIBUTO POTENCIAL DA ENERGIA EÓLICA  
*OFFSHORE* PARA AS METAS DE DESCARBONIZAÇÃO DA  
ECONOMIA E DO SETOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL  
PARA 2050

EDGAR RODRIGUES FERREIRA

OUTUBRO 2021



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO**  
**ECONOMIA E POLÍTICAS PÚBLICAS**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

DISSERTAÇÃO

O CONTRIBUTO POTENCIAL DA ENERGIA EÓLICA  
*OFFSHORE* PARA AS METAS DE DESCARBONIZAÇÃO DA  
ECONOMIA E DO SETOR ENERGÉTICO EM  
PORTUGAL PARA 2050

POR EDGAR RODRIGUES FERREIRA

**ORIENTAÇÃO:**

PROFESSOR DOUTOR JOSÉ MANUEL ZORRO MENDES

OUTUBRO 2021

## Lista de Siglas e Acrónimos

GEE - Gases do Efeito Estufa

UE - União Europeia

ONU - Organização das Nações Unidas

IEA - *International Energy Agency*

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis

IRENA - *International Renewable Energy Agency*

GW - GigaWatt

MW - MegaWatt

MWh - MegaWatt por hora

RU - Reino-Unido

m - metros

km - quilómetros

LCOE - *Levelised Cost of Electricity* (Custo Nivelado de Eletricidade)

ACER - Agência de Cooperação dos Reguladores da Energia

CEF - *Connecting Europe Facility*

PNAER - Plano Nacional de Ação de Energias Renováveis

PNEC - Plano Nacional de Energia e Clima

RNBC - Roteiro Nacional Baixo Carbono

INE - Instituto Nacional de Estatística

EDPR - EDP Renováveis

FER - Fonte de energia renovável

EUA - Estados Unidos de América

CNBC - *Consumer News and Business Channel*

OMS - operação, manutenção e serviço

## Resumo

As alterações climáticas e o esgotamento dos recursos fósseis favoreceram a produção de energia com fonte renovável, levando à transição energética com o objetivo de neutralidade carbónica para 2050. A União Europeia, que pretende ser o primeiro continente a atingir a neutralidade carbónica, desenvolveu novas tecnologias, tais como a eólica *offshore*, por forma a acelerar a transição energética. Portugal apresenta um elevado potencial neste tipo de energia pela densidade de costas marítimas que dispõe. A literatura proposta revê relatórios e roteiros estabelecidos pelo governo português e agências do setor energético, para alcançar uma economia de baixo carbono, fixando metas ambiciosas para 2030 e 2050. A intervenção do Estado é necessária para regular o setor e proteger o ecossistema marítimo, que a energia eólica *offshore* pode afetar pela sua instalação no mar. Esta dissertação explora o contributo das diferentes energias renováveis para a descarbonização do setor, com enfoque na eólica *onshore* e o peso crescente da eólica *offshore*, sendo esta o tema principal do trabalho final. A análise mostra que a *offshore* se desenvolveu através da aposta pelos decisores políticos na inovação e desenvolvimento tecnológico. Um aumento da capacidade instalada conjugado com turbinas mais potentes resultaram num aumento da produção de energia ao longo do século. A redução do custo nivelado de eletricidade (LCOE) também se tornou importante para atrair os investidores e ganhar a confiança dos mesmos para o desenvolvimento da *offshore*. Conclui-se desta investigação, a competitividade da eólica *offshore* face aos recursos fósseis e a existência de uma real oportunidade de mercado permitindo obter benefícios socioeconómicos pela criação de emprego e crescimento económico. Os decisores políticos mundiais nomeadamente portugueses, demonstraram a vontade de descarbonizar o setor energético e assim criar uma economia "azul", baixa em carbono.

**Palavras-chave:** fonte renovável; transição energética; neutralidade carbónica; eólica *offshore*; descarbonização do setor; desenvolvimento tecnológico; LCOE; benefícios socioeconómicos; economia " azul".

## **Abstract**

Climate change and the depletion of fossil resources facilitated the development of renewable energy, leading to the energy transition with the objective of carbon neutrality by 2050. The European Union, which intends to become the first continent to reach carbon neutrality, developed new technologies such as offshore wind power in order to accelerate its energy transition. Portugal has high potential in this type of energy thanks to the density of its coastal areas. The proposed literature reviews reports and roadmaps developed by the Portuguese government and agencies of the energy sector, in order to reach a low carbon economy, setting ambitious targets for 2030 and 2050. The intervention of the State is necessary to regulate the sector and protect the maritime ecosystem, which can be affected by the installation in the sea of offshore wind farms. This dissertation explores the contribution of different types of renewable energy to the decarbonization of the sector, with a focus on offshore wind power and its growing importance; that is the main theme of the final work. The analysis shows that the offshore development was made possible through political decision makers' bet on innovation and technological advancement. The increase in capacity combined with more powerful turbines led to an increase of the energy produced throughout the century. The decrease of the levelised cost of energy (LCOE) also became an important factor to attract investors and gain their trust in the development of the offshore. It can be concluded from this investigation that offshore wind power is competitive against fossil resources and that there is a real market opportunity to drive socio-economic benefits, to create jobs and economic growth. Global political decision makers, in particular in Portugal, have demonstrated their will to decarbonize the energy sector and so, create a "blue" economy, low in carbon.

**Keywords:** renewable sources; energy transition; carbon neutrality; offshore wind power; decarbonization of the energy sector; technological development; LCOE; socio-economic benefits; "blue" economy

# Índice

<b>LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS .....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1. CONTEXTO .....	2
2.2. EÓLICA OFFSHORE "FIXA" .....	3
2.3. EÓLICA OFFSHORE "FLOATING" .....	4
2.4. QUADRO GERAL .....	6
2.4.1 Ambiente marítimo.....	6
2.4.2 Cadeia de abastecimento .....	6
2.4.3 Cadeia de valor .....	7
2.4.4 Custo nivelado de eletricidade.....	8
2.4.5 Regulação europeia .....	8
2.5. CONTEXTO PORTUGUÊS .....	9
<b>3. O PESO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA AS METAS DE DESCARBONIZAÇÃO DA ECONOMIA EM PORTUGAL .....</b>	<b>11</b>
3.1 A CONTRIBUIÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS DE MANEIRA GERAL PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO... 12	
3.2 ENERGIA EÓLICA ONSHORE .....	15
<b>4. A ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NA ECONOMIA GLOBAL .....</b>	<b>18</b>
4.1 A APARIÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA OFFSHORE E O SEU DESENVOLVIMENTO AO LONGO DAS DÉCADAS .....	18
4.1.1 Histórico e apresentação global .....	18
4.1.2 O progresso tecnológico e a aposta na inovação .....	20
4.2 O CUSTO NIVELADO DE ELETRICIDADE DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE (LCOE).....	22
4.2.1 Normalização da indústria eólica offshore .....	22
4.2.2 Composição e evolução do custo nivelado da eletricidade.....	23
4.2.3 Uma oportunidade de mercado.....	25
4.3 OS ATORES ENVOLVIDOS NO SETOR DA EÓLICA OFFSHORE E O RESULTADO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS ADAPTADAS À POLÍTICA ENERGÉTICA .....	27
4.3.1 Os atores envolvidos em todo o processo.....	27
4.3.2 Os benefícios socioeconómicos resultantes da indústria.....	28
<b>5. RUMO À NEUTRALIDADE CARBÓNICA PARA 2050 EM PORTUGAL .....</b>	<b>30</b>
5.1 O CASO PRÁTICO PORTUGUÊS DE EÓLICA OFFSHORE.....	30
5.2 A DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR ENERGÉTICO EM PORTUGAL.....	32
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>41</b>

## Índice de figuras

**Figura 1** - Evolução da trajetória mínima de FER no consumo final bruto de energia

**Figura 2** - Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade

**Figura 3** - Evolução do PIB, das Emissões Totais de CO<sub>2</sub> e do Consumo de Energia Primária (2000 = 100)

**Figura 4** - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2018

**Figura 5.a** - Balanço da produção de eletricidade na Região Autónoma da Madeira

**Figura 5.b** - Balanço da produção de eletricidade na Região Autónoma dos Açores

**Figura 6** - Tendências capacidade instalada da tecnologia solar, em Portugal

**Figura 7** - Tendências de capacidade instalada da energia dos oceanos em Portugal (MW)

**Figura 8** - Tendências de capacidade instalada da energia eólica no planeta (MW)

**Figura 9** - Produção bruta de energia elétrica: total e por tipo de produção de energia elétrica, GWh (Gigawatt-hora), hídrica

**Figura 10** - Produção bruta de energia elétrica: total e por tipo de produção de energia elétrica, GWh (Gigawatt-hora), eólica

**Figura 11** - Crescimento global da eólica *offshore* para 2030 na Asia

**Figura 12** - Média ponderada global e faixa de custos totais de instalação, fatores de capacidade e LCOE para eólica *offshore*, 2010-2020

**Figura 13** - Tamanho da turbina e tamanho médio global da turbina e capacidade do parque eólico para eólica *offshore*, 2000-2020

**Figura 14** - Trajetória LCOE (2010-2019)

**Figura 15** - Média ponderada global do LCOE e *Power Purchase Agreement/auctions* para solar PV, eólica *onshore*, *offshore* e CSP, 2010-2023

**Figura 16** - Empregos diretos e indiretos na indústria eólica

**Figura 17** - Cenários empregos no setor eólico europeu para 2030

**Figura 18** - Evolução das emissões nacionais de GEE

## Índice de tabelas

**TABELA I** - Produção bruta de energia elétrica: total por tipo de produção de energia elétrica (2001-2010)

**TABELA II** - Produção bruta de energia elétrica: total por tipo de produção de energia elétrica (2011-2019)

**Tabela III** - Queda do LCOE em 2030 e 2045

**Tabela IV** - Impacto tecnológico das turbinas, 2001-2015

**Tabela V** - Média ponderada do LCOE por região e por país para a eólica *offshore*, 2010 e 2020

**Tabela VI.a** - Evolução de emissões nacionais de GEE nas diferentes trajetórias baixo carbono consideradas (% face a 1990)

**Tabela VI.b** - Evolução de emissões nacionais de GEE per capita (tCO<sub>2</sub>eq./per capita) nas trajetórias baixo carbono analisadas (% face a 1990)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador de tese no quadro do Trabalho Final de Mestrado, Professor Doutor Zorro Mendes, por ter acreditado no meu tema desde a sua apresentação e discussão, pelo seu tempo , disponibilidade e palavras de incentivo.

A todo o corpo docente do ISEG que me acompanhou no mestrado de Economia e Políticas Públicas, pelo conhecimento transmitido.  
Nota especial para a Professora Manuela Arcanjo que me motivou à inscrição neste mestrado, sem a qual nada seria possível.

Aos meus pais e irmão, a quem dedico este trabalho de investigação, por me terem sempre apoiado nos bons e menos bons momentos, eterna gratidão por me facilitarem o acesso ao ensino, por me darem esta oportunidade de estudo e pelos quais tenho uma estima incondicional.

Aos meus colegas de mestrado em Portugal e de Licenciatura em Paris, pela entreaajuda e partilha.  
Aos meus amigos, que sempre acreditaram e com os quais pude debater sobre o tema.  
A todos os que me ajudaram a estabelecer respostas ao longo desta dissertação.

A todos, muitíssimo obrigado!

## 1. Introdução

O planeta tem vindo, nas últimas décadas, a conhecer grandes dificuldades em suportar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) provocados pela combustão de energias fósseis (carvão, petróleo, gás natural). Estas emissões libertadas na atmosfera, designadas como poluentes, têm como consequência alterações climáticas drásticas para a população mundial o que levou à consciencialização por parte dos decisores políticos internacionais do problema ambiental. De facto, a temperatura global do planeta foi aumentando ao longo dos anos com um aumento de 1 °C acima dos valores registados na época pré-industrial e poderá atingir 3 °C no final do século segundo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas, IPCC (2018).

As alterações climáticas é um tema mundial que exige a cooperação de todos os países, tratando-se de uma questão de governança internacional. Neste sentido, a nova presidência americana de Joe Biden e a vontade de integrar novamente os Acordos de Paris, deixa um sinal de esperança para o futuro. Em 2015, foi assinado o primeiro acordo internacional utilizando o conceito de neutralidade carbónica cujo principal objetivo longo prazo é a luta contra o aquecimento global limitando o aumento da temperatura do planeta a 2 °C, ou abaixo desejavelmente, em relação aos níveis pré-industriais limitando o aumento a 1,5 °C, segundo os Acordos de Paris (2015). Através este acordo, espera-se o alcance da descarbonização das economias mundiais tentando atingir a neutralidade carbónica para 2050. Entende-se por neutralidade carbónica, um estado de equilíbrio entre os GEE de origem humana libertados e a retirada dos mesmos da atmosfera com ajuda dos recursos naturais e redução da poluição.

O objetivo proposto pela Organização das Nações Unidas, United Nations Environment Programme (2019) a nível mundial, é uma redução dos GEE de 7,6% por ano até 2030 para limitar o aquecimento global a 1,5 °C. Por isso, é necessário agir rapidamente. A União Europeia (UE) tem como objetivo ser o primeiro continente neutro climaticamente com uma redução dos GEE em 55% até 2030 em relação a 1990. A UE tem vindo a fixar metas cada vez mais ambiciosas ultrapassando em 2020 os seus objetivos com uma redução de 23%. Neste sentido de neutralidade, a

Comissão Europeia (2019) estabeleceu um pacto ecológico, o *Green Deal*, no qual se enquadra Portugal, pelo qual a ação abrange vários setores nomeadamente a descarbonização energética. Segundo o diretor executivo da *International Energy Agency* (IEA), o desafio climático é um desafio energético, Fatih Biral (2021), *Net zero by 2050 plan for energy sector is coming*, *Financial Times*. O objetivo está em tentar reduzir a dependência aos combustíveis fósseis e virar-se para a transição energética, garantindo uma energia segura, sustentável e com preços competitivos para todos os cidadãos, através da criação de um mercado interno de energia europeu, Comissão Europeia (2020). Vamos, na revisão de literatura, dar enfoque à eólica *offshore* e discutir o papel da mesma na descarbonização do setor elétrico tal como o contributo para as metas de descarbonização da economia e neutralidade carbónica para 2050 no mundo e em Portugal.

## 2. Revisão literatura

### 2.1. Contexto

Em Portugal, para conduzir a transição energética da melhor forma, uma aposta no renovável está a ser feita para poder atingir um patamar de 80% na produção de eletricidade e 47% no consumo final bruto de energia em fonte de energia renovável até 2030, Direção Geral de Energia e Geologia, DGEG (2020). As fontes energias renováveis são recursos naturais sem limitação de esgotamento que visam a substituir recursos que são limitados no tempo, como os combustíveis fósseis e, assim, reduzir os GEE e o preço da energia no mercado da eletricidade.

A Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) e a *International Renewable Energy Agency* (IRENA) distinguem 6 tipos de energias renováveis. A energia hídrica, a geotérmica, a biomassa, dos oceanos (a energia da força das marés, das ondas, a energia gradiente de salinidade e a conversão térmica dos oceanos), a solar (térmica e a fotovoltaica) e a eólica. Antes de apresentar a última fonte de energia renovável, é necessário mencionar a aparição do hidrogénio. A última energia renovável identificada pelas agencias mencionadas supra, é a eólica. A IRENA identifica a energia eólica como "a tecnologia de energia renovável de crescimento mais rápido".

Esta energia funciona com a força de um capital natural inesgotável, sendo ele o vento. Existem dois tipos de energias eólicas: a eólica *onshore* e a eólica *offshore*. A eólica *onshore* consiste na produção de eletricidade a partir do vento em terra. Até hoje, é fonte de eólica que produz mais eletricidade no planeta com cerca de 594 GigaWatt (GW) de capacidade instalada. No caso português da eólica *onshore*, o Roteiro Nacional de Baixo Carbono, RNBC (2010), previa um esgotamento em 2020. A realidade é que, segundo dados da IRENA (2019), em quanto a capacidade instalada da eólica *onshore* no mundo multiplicou-se por cerca de 3,35 na última década, em Portugal aumentou 2,5 vezes menos com um crescimento de cerca de 1,38, em relação a 2010. Por outro lado, temos uma fonte de energia renovável eólica *offshore*, que produz eletricidade desta vez no mar. O funcionamento é semelhante à eólica *onshore*, com turbinas produzindo eletricidade. Segundo o RNBC (2010), a tecnologia eólica *offshore* torna-se competitiva, num cenário de elevada procura de energia e com elevado potencial custo-eficácia no longo prazo. Os oceanos constituem uma fonte de abundante potencial em energias renováveis para conduzir um uso sustentável dos recursos, IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*. Vamos aprofundar este segundo tipo de energia renovável eólica dita "offshore", primeiro, de maneira genérica e, depois, discutir a situação atual e perspetivas futuras desta tecnologia em Portugal.

## 2.2 Eólica *offshore* "fixa"

É possível identificar a eólica *offshore* "fixa", ou seja, com uma turbina ou parque eólico (várias turbinas) instalado em águas que são pouco profundas, em regra geral perto da costa de maneira a poder fixar a tecnologia das turbinas no solo marítimo. Os parques eólicos podem ser construídos rapidamente perto das costas densamente povoadas "o que pode ser bom para a descarbonização do setor de maneira eficiente", IRENA (2016), *Innovation outlook offshore wind*. A grande maioria dos parques eólicos *offshore* estão instalados na Europa do Norte, nas águas britânicas e alemãs e no Mar Báltico. No final do ano 2015, havia 12 GW de capacidade instalada em eólica *offshore* no planeta dos quais cerca de 11 GW estavam instalados na Europa

e o restante na Ásia, IRENA (2016), *Innovation outlook offshore wind*. Em relação a 2010, momento em que estavam instalados cerca de 3 GW na Europa, segundo a Fundação para a Ciência e Tecnologia, desenvolvido em colaboração pelo CEETA-ECO et al (*Road Map para as Energias Offshore em Portugal, 2011*), o potencial da eólica *offshore* foi multiplicado por um pouco menos de 4 em 2015.

A primeira eólica *offshore* ficou operativa em 2002 na Dinamarca com capacidade instalada de 160 MW, IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*. Os maiores parques eólicos situam-se em águas pouco profundas, como é o caso no Mar do Norte, sendo "a principal região do mundo em termos de potência instalada e de conhecimentos especializados em matéria de energia eólica marítima", Comissão Europeia (2020). Na Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho da UE de 2020, está mencionado que, em 2019, 93% da potência instalada de eólica "fixa" no planeta foi produzida na Europa. Segundo este relatório, a UE-27 somente dispõe de 12 GW dos 28,5 GW de capacidade instalada em eólica *offshore* mundial, algo que pode parecer estranho depois de ter crescido quase 4 vezes durante 5 anos até 2015 (contra aumento de 1 GW até 2019 em relação a 2015). Tal situação, deve-se ao facto do Reino-Unido (RU) ter saído da UE. De facto, em 2019, o RU tem 9,7 GW de capacidade instalada (34% do mercado mundial). Somando a capacidade do RU aos 42% de parte de mercado da UE (12 GW) obtemos uma capacidade total instalada na Europa em eólica *offshore* "fixa" de 21,7 GW em 2019, Comissão Europeia (2020). Neste sentido, é de realçar que "empresas europeias são fundamentais no mercado mundial apesar da concorrência emergente das empresas asiáticas", no que diz respeito à tecnologia e instalação da mesma, Comissão Europeia (2020).

### 2.3 Eólica *offshore* "floating"

O progresso tecnológico abre a porta a parques eólicos com melhores recursos e à melhor combinação dos mesmos, a uma maior dimensão e representam uma alternativa atraente para um uso de eletricidade de baixo carbono numa escala de "utilidade". O desenvolvimento tecnológico das turbinas, das suas bases, a instalação, o acesso, permitiram explorar águas mais profundas e mais longe das costas, sendo ainda considerada uma tecnologia emergente. Até 2007, as eólicas *offshore* eram fixas

até 20 metros (m) de profundidade e instaladas até cerca de 30 quilómetros (km) da costa. Em 2015, as turbinas podem ser instaladas até 40m e 80km da costa, no que diz respeito à Europa, IRENA (2016), *Innovation outlook offshore wind*. Nessa altura não existem dados sobre o potencial tecnológico da eólica *offshore* em águas mais profundas na Ásia no relatório da Agencia Internacional para as Energias Renováveis (2016). Já no IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*, está mencionado uma maior limitação para países como Japão, Estados- Unidos ou Portugal devido à profundidade do solo marítimo perto das costas e, assim, uma maior dificuldade na instalação das turbinas eólicas *offshore* fixas. Surge daqui o segundo tipo de eólica *offshore* dito "*floating*" ou flutuante. Considera-se eólica *offshore* flutuante quando é instalada a mais de 40m de profundidade.

O sudoeste europeu (França, Espanha e Portugal), banhado pelo oceano Atlântico, apresenta "um elevado potencial natural para a energia eólica marítima tanto em turbinas fixas como flutuantes", Comissão Europeia (2020). Neste sentido, já foram efetuados vários financiamentos por parte de Estados Membros da UE e empresas privadas, sendo inclusive parte da realidade presente. A UE estabeleceu metas para a capacidade instalada em energia de fonte renovável eólica *offshore* para 2030 e 2050, onde se espera atingir 60 GW e 300 GW de potência instalada respetivamente. São metas ambiciosas para o que é atualidade da capacidade instalada (12 GW em 2020 na UE-27). De facto, com as políticas públicas atuais, somente se conseguirá atingir 90 GW em 2050 e prevê-se para 2024, 150 MW em eólica *offshore* flutuante, Comissão Europeia (2020). Segundo a IRENA, a capacidade *offshore* pode atingir 228 GW em 2030 e 1000 GW em 2050 (60% instalada na Ásia, 22% na Europa e 16% e no continente Norte Americano). A IRENA prevê para a Europa, 10 GW menos instalados face ao projetado pela Comissão Europeia em 2030 e cerca de 75 GW menos para 2050. Mais otimista que a Comissão Europeia, a IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*, estima para 2030, segundo os científicos, entre 5 e 30 GW de capacidade instalada *offshore* eólica "*floating*" no planeta e cerca de 150 GW em 2050. A criação de um parque eólico no mar apresenta um vento de maior intensidade, mais disponibilidade em áreas contínuas e não é

poluente visualmente para a população, o que pode ser sinónimo de maior eficiência. Pode no entanto haver conflitos de interesse com outras atividades ou haver uma constituição do fundo submarino como declives por exemplo. Antes de discutir a cadeia de abastecimento da eletricidade até à terra através da rede, a cadeia de valor, o custo nivelado de produção de eletricidade (LCOE), a regulação europeia, na qual se insere Portugal, e perceber o contexto português e suas metas, temos de realçar um ponto importante que é o ecossistema marítimo e a gestão sustentável dos recursos.

## 2.4 *Quadro geral*

### 2.4.1 *Ambiente marítimo*

As autoridades públicas têm de garantir uma coexistência entre a produção de eletricidade *offshore* com outras atividades marítimas tais como a pesca, o turismo e a defesa por exemplo, e, também, uma aceitação por parte da população. A biodiversidade deve ser protegida pelas autoridades para não afetar as populações locais que vivem da sua boa saúde. "Neste contexto, os projetos basear-se-ão também nas ferramentas digitais e de monitorização mais recentes, a fim de assegurar uma coexistência eficiente (...) facilitar a minimização do impacto da energia ao largo no habitat e nas espécies protegidas", Comissão Europeia (2020), e maximização dos benefícios mas sempre ponderando os impactos negativos no ecossistema do oceano, IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*. Só respeitando esta legislação da UE no domínio da natureza (publicado pela Comissão Europeia), é que a energia em fonte renovável será sustentável, não causando externalidades negativas.

### 2.4.2 *Cadeia de abastecimento*

No que toca à integração da rede elétrica de energia produzida no mar através da eólica, os custos são mais elevados face à eólica em terra devido ao desenvolvimento de novas tecnologias (infraestruturas, navios adequados, instalação, cabos de transmissão), *Road Map para as Energias Offshore em Portugal* (2011). A própria eólica *offshore "floating"* acaba por ser mais cara face à eólica fixa requerendo uma tecnologia mais avançada. Uma expansão desta fonte de energia renovável exige

o "planeamento de uma rede que ultrapasse as fronteiras nacionais", Comissão Europeia (2020). O objetivo longo prazo europeu é de criar um mercado interno energético mas, para tal, deverá primeiro criar vários mercados regionais. Isto implica um compromisso a assumir pelos Estados Membros através fixação de metas que se poderão traduzir num "acordo intergovernamental", diz a Comissão Europeia. Em 2010, já se falava num projeto de criação de "super-rede de distribuição energética", *Road Map* para as Energias *Offshore* em Portugal (2011), nomeadamente no Mar do Norte onde vários "*players*" estariam envolvidos. O facto de existirem compromissos entre os Estados, vai reduzir o risco para os operadores de rede de transporte. Neste sentido, deverá haver uma coordenação e sobretudo uma cooperação com as autoridades reguladoras nacionais de maneira a otimizar o espaço marítimo e por consequente as redes energéticas *offshore*, Comissão Europeia (2020).

#### 2.4.3 Cadeia de valor

Uma das principais ações da Comissão Europeia (2020), é "melhorar a eficiência em toda a cadeia de valor da energia eólica *offshore*". Por forma a atingir as suas metas, deverá ser capaz de aumentar a sua capacidade mantendo taxas de instalação elevadas. Como foi referido, os fabricantes de materiais (necessários à construção), os fornecedores e dispositivos flutuantes vão necessitar de investimentos na criação, montagem, instalação e manutenção, mas também na modernização para satisfazer um aumento da produção de eletricidade. Do lado da oferta, a cadeia europeia de abastecimento de energia de fonte renovável eólica *offshore* é dinâmica e competitiva, "mas enfrentará um desafio em termos de expansão e manutenção da sua excelência num contexto de concorrência crescente nos mercados mundiais". A rentabilidade destes projetos no mar é dependente da procura de eletricidade mas o facto de existir um quadro regulamentar, que vamos discutir a seguir, e uma cooperação regional, pode reduzir o risco para o investidor que necessita "antecipar as suas ações e continuar a aumentar a sua capacidade de fabrico para uma escala industrial", Comissão Europeia (2020).

#### 2.4.4 Custo nivelado de eletricidade

Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2020) *Projecting costs of generating electricity*, o custo nivelado da eletricidade com fonte em renovável (*Levelised Cost of Electricity*) tem diminuído nos últimos anos passando abaixo do custo das energias fósseis, o que torna o custo da eletricidade em fonte de energias renováveis mais competitivo. A eólica *offshore* tem tido um bom desempenho relativamente aos custos com uma diminuição flagrante. Em 2015 a mediana LCOE andava à volta dos USD 150/MWh (dólares por megawatt hora) foi descendo progressivamente para USD 130/MWh em 2018, IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*, até atingir em 2020 menos de USD 100/MWh, IEA (2020), *Projecting costs of generating electricity*. Para a IRENA (2020), *Fostering a blue economy offshore renewable energy*, espera uma redução do LCOE para USD 50/MWh em contexto de elevada procura (inferior a USD 90/kWh numa situação de baixa procura) em 2030 e para USD 30/MWh (inferior a USD 70/MWh) em 2050. Segundo a IEA, o LCOE baseia-se numa "abordagem de custo médio de vida nivelada, utilizando o método de cash-flow (DCF) com desconto (...) não inclui os custos de transporte e distribuição nem capta as externalidades para além do CO2 vegetal". O que se retira da análise da IEA, é que o LCOE da eólica diminui quanto mais fornecimento de energia houver. A Comissão Europeia (2020) mencionou na sua Comunicação, que se constata uma redução do custo da eólica *offshore* fixa de 44% na última década para valores entre 45 e 79€/MWh em 2019. Em relação à "*floating*", existe mais ambição para atingir um volume de mercado consequente e suficiente para reduzir os custos. Será possível, segundo a Comissão Europeia (2020), atingir um LCOE inferior a 100€/MWh em 2030.

#### 2.4.5 Regulação europeia

Para estabelecer um mercado interno de eletricidade, é necessário haver regulação, seja dos riscos, seja da energia. Segundo o Parlamento Europeu (2021), em 2019, foi adotado o Quarto Pacote de Energia que "introduz novas regras do mercado da eletricidade para satisfazer as necessidades das energias renováveis e atrair investimentos". Desde 1996, os primeiros pacotes que começaram a ser lançados

incorporavam diretivas de liberalização para os consumidores industriais e domésticos sobre a livre escolha do fornecedor de eletricidade e logo prosseguir para a realização do mercado interno da energia. Este quarto pacote aumenta as competências da Agência de Cooperação dos Reguladores da Energia (ACER) para gerir o risco de fragmentação nacional e regional. Esta agência tem como papel monitorizar os mercados internos de eletricidade e do gás, colabora na elaboração de regras para a rede europeia, e investiga eventuais abusos de mercado. A ACER também examina "regras pormenorizadas de acesso à rede e códigos técnicos, bem como asseguram a coordenação do funcionamento da rede através do intercâmbio de informações de funcionamento e do desenvolvimento de normas e procedimentos comuns de segurança e emergência", Parlamento Europeu (2021). Existe um regulamento europeu, (UE, despacho 2019/941), que estabelece medidas que asseguram este mercado, medidas estas que garantem a segurança do fornecimento de eletricidade. O objetivo é fornecer uma energia estável e abundante aos cidadãos europeus. Para além da segurança energética, é necessário estabelecer orientações para as redes transeuropeias financiados pelo Mecanismo Interligar a Europa (CEF). Este mecanismo é um elemento chave para a criação da cadeia de valor ligada à energia nomeadamente para o crescimento económico, a criação de empregos qualificados e a competitividade, Comissão Europeia (2020). Depois de ter analisado em detalhe a situação atual da eólica *offshore* e metas para o futuro no planeta, vamos agora discutir o contexto, os objetivos e as metas para Portugal no setor.

### 2.5 Contexto português

No território português, 83% dos GEE provêm do sistema energético, o que posiciona a eficiência energética e as energias renováveis como pilares para a transição energética, CENSE (2020), "O papel da eletrificação no futuro de descarbonização em Portugal". O RNBC de Portugal identifica a produção de eletricidade "limpa" como "o vetor de descarbonização mais relevante". O Estado português tem, neste sentido, de garantir a competitividade do preço da eletricidade face ao preço das energias fósseis, que reflete o impacto ambiental associado às externalidades negativas e que gera

emissões de gases poluentes, mencionado no Plano de Recuperação Económica e Social de Portugal para 2030. Recordar que, em mercado perfeito, sem externalidades negativas, o excedente do consumidor aumenta implicando um preço mais baixo. Estes fracassos de mercado existem e requerem uma intervenção do Estado em termos de políticas públicas, caso contrário, a quantidade consumida será superior à ótima e o preço será inferior ao eficiente.

Para poder desenvolver o setor e tentar corrigir os fracassos de mercado, Portugal foi, ao longo dos anos, construindo roteiros para promover os seus objetivos, estabelecendo metas. O Plano Nacional de Ação de Energias Renováveis (PNAER, 2013-2020) constituía objetivos para 2020, nomeadamente no tema da energia, existindo um desequilíbrio entre a capacidade de produção e o consumo, incentivos à construção em meios de produção em fonte de energia renovável e gás natural. Neste Plano estimava-se um total de 15 824 MW de potencia instalada em fontes de energia renovável para 2020 mas unicamente foram concretizados 5 104 MW dentro dos quais 783 MW em eólica. Algumas medidas foram tomadas como as de sobre equipamento dos parques eólicos existentes. Ao longo da última década em Portugal, a quota de energias renováveis no consumo final bruto de eletricidade foi aumentando até atingir em 2019, a sétima (7ª) posição do ranking da UE, com 53,8%, DGEG (2021).

Um novo Plano Nacional de Energia e Clima para 2030 (2018) foi estabelecido, vindo substituir o PNAER para 2020 (2013), pelo que passou a ser o principal instrumento de política energética em Portugal. Realçar que Portugal faz parte da UE, que fixa objetivos e metas de longo prazo, tendo que se alinhar. O foco deste Plano está no alcance da neutralidade carbónica em 2050, e, para tal, deverá fixar metas ambiciosas para 2030. Relembrar que a Europa quer ser o primeiro continente neutro em carbono. Aspectos como, a descarbonização da economia através da redução dos GEE e o uso de energias renováveis, o mercado interno de energia e a segurança energética, fazem parte integrante deste Plano de Ação para Portugal a prazo. Metas ambiciosas de redução entre 45 e 55% das emissões de CO<sub>2</sub> para 2030 em relação a 2005 e o uso do renovável no consumo final em 47%, foram fixadas, PNEC 2030 (2019). Nos 47% em fonte renovável existe um enfoque nas tecnologias solar, eólica *onshore* e

*offshore* para o setor da eletricidade, e, deste modo, atingir 80% no consumo de eletricidade em 2030, face aos 61,7% de 2020 (dos quais 24,4% eólica), segundo APREN (2020). O Instituto Nacional de Estatística (INE) não apresenta nenhuns dados para a eólica *offshore* em 2019 porque começou a ser instalado nesse ano apesar da IRENA (2020) apresentar um capacidade instalada de 8 MW em *offshore* em Portugal (uma turbina instalada). O INE apresenta também uma base de dados com um peso cada vez mais importante para a eólica até atingir 28,54% no consumo de eletricidade em 2019. Ainda, no Plano para 2030, há uma perspetiva de 300 MW de potência instalada em eólica *offshore* em Portugal.

Por último, um relatório mais a longo prazo, o Roteiro Nacional Carbono 2050 (RNC, 2019) com metas de redução dos GEE entre 85 e 90% até 2050 em relação a 2005 e o restante "compensado pelo solo florestal e marítimo com vista à descarbonização total do setor electroprodutor, mobilidade urbana e alterações no uso da energia e dos recursos de forma eficiente". Se estas metas forem alcançadas, haverá "um impacto positivo na economia e na criação de emprego, melhoria da qualidade do ar", (RNC-2050, 2019). Segundo o artigo publicado pelo Presidente da Associação Portuguesa de Energias Renováveis, Pedro Amaral Jorge (2021), "Renováveis criam três vezes mais empregos do que combustíveis fósseis", "por cada milhão de euros investidos em energias renováveis, são criados três vezes mais empregos comparativamente ao mesmo investimento em energias fósseis".

### 3. O peso das energias renováveis para as metas de descarbonização da economia em Portugal

Antes de entrar de maneira geral na contribuição dos diferentes tipos de energias renováveis presentes em Portugal para as metas de descarbonização da economia num primeiro ponto e na eólica *onshore* num segundo, vamos introduzir o peso das fontes de energias renováveis no consumo final de energia e na produção de eletricidade nas últimas décadas em Portugal. As energias renováveis no consumo final de energia têm vindo a ganhar cada vez mais importância. Em 2005, momento em que as emissões de GEE apresentavam o pico mais elevado desde 1990 até 2020, o

consumo final bruto de energia em fonte de energia renovável representava 19,5% do consumo total. Este número foi aumentando até atingir 31% em 2020, conforme as metas definidas no PNAER 2020, metas que foram superadas várias vezes deixando sinais de esperança para o futuro (Figura 1, anexo). Em 2030, espera-se alcançar, 47% do consumo final de energia em FER, nomeadamente graças à produção de eletricidade de base renovável e à evolução da capacidade instalada.

Segundo o PNEC 2030 (2019), o setor da eletricidade é e será um setor chave para a transição energética sendo que dispõe de um forte potencial de recursos endógenos, um setor elétrico fiável e um setor electroprodutor fortemente descarbonizado, com especial enfoque nas energias solar e eólica (*onshore* e *offshore*). Ainda em 2005, as energias renováveis representavam 28% da produção de eletricidade e atingiu 54,2% em 2017 (quase dobrou), o que valeu a Portugal ocupar a 5ª posição da UE com produção de eletricidade em FER e colocar-se como um dos líderes europeus mais de 20 pontos percentuais acima da média da UE-28 (Figura 2, anexo). Espera-se uma quota em FER na produção de eletricidade de 60% em 2020, número que já foi superado, e 80% em 2030 ou seja o dobro face a 2010. De notar que o aumento da percentagem em FER no consumo final de energia e na produção de eletricidade estão correlacionados negativamente com a redução dos GEE desde 2005. Também se nota esta correlação negativa entre o PIB português e as emissões carbono onde Portugal tem conseguido gerar riqueza com menos emissões CO<sub>2</sub> e uma redução do consumo de energia primária, leia-se de energia fóssil, poluente (Figura 3, anexo).

### *3.1 A contribuição das energias renováveis de maneira geral para uma economia de baixo carbono*

Portugal é um país que dispõe de um enorme potencial em energias renováveis devido à presença de importantes recursos endógenos tais como o mar, o vento ou o sol. Neste sentido, existem várias energias renováveis presentes no território. A APREN e a IRENA distinguem 6 que vão ser apresentadas a seguir. É importante destacar a energia hídrica, sendo esta, a mais antiga e mais presente em 2018 juntamente com a eólica (Figura 4, anexo). Só é contabilizado a eólica *onshore* sendo que a *offshore* ainda não existia em Portugal em 2018. Destaque também para a energia biomassa e a

energia solar fotovoltaica. Em 2018, hídrica está na origem de 44,2% da energia elétrica produzida, 41,2% para a eólica *onshore*. No que diz respeito às regiões autónomas da Madeira e dos Açores, o uso de energia renovável na produção de eletricidade está aquém quando comparamos com Portugal continental. Na Madeira em 2020, somente 27,23% tem origem renovável e 40,4% para os Açores (Figura 5a e 5b, anexo). Em relação aos Açores, especial destaque para a energia geotérmica com 62,13% do total com origem em renovável (Figura 5b, anexo).

A energia hídrica é a energia renovável mais antiga de todas que utiliza a água para fazer girar turbinas através barragens e reservatórios permitindo ter em estoque água atendendo à procura. A hídrica pode também ser utilizada sem barragens e reservatórios a menor escala e assim ser considerada mais ecológica. Em média em 2019 em Portugal, 30% da eletricidade consumida é hídrica. Segundo o Roteiro Nacional de Baixo Carbono português de 2010, o potencial da hídrica esgota-se em 2030 deixando lugar às tecnologias competitivas, mediante elevada procura de energia. De facto este tipo de energia tem vindo a estagnar em Portugal em torno de 4,5 GW de capacidade instalada nos últimos 6 anos sem contabilizar a produção de energia hidrelétrica proveniente de usinas mixas, segundo dados de 2020 da IRENA. Neste sentido, no que diz respeito à produção de eletricidade, é importante aproveitar o potencial hidrelétrico já construído em Portugal e concluir projetos em curso nomeadamente do Alto Tâmega que representa 1,2 GW de nova capacidade, contribuindo assim, para as metas de descarbonização, PNEC 2030 (2019). A segunda energia renovável, que tem vindo a crescer seja a nível mundial, seja a nível nacional, é a solar, nomeadamente a fotovoltaica. Como o seu nome indica, esta energia utiliza a força do sol para produção de eletricidade. São identificadas duas energias solares: a térmica e a fotovoltaica. A primeira trabalha com turbinas que funcionam com espelhos que concentram a luz do sol para fornecer eletricidade. A segunda trata-se de células fotovoltaicas que recebem os raios solares e transformam-nos em eletricidade. No planeta, a capacidade instalada em energia solar, foi multiplicada por 14 na última década com um aumento de cerca de 580 GW ultrapassando em 2020 700 GW dos quais 99% são de origem solar fotovoltaica. Em 2020, Portugal

ultrapassou a barra significativa do 1 GW de capacidade instalada, segundo a IRENA (Figura 6, anexo), número multiplicado por 8 em relação aos números de 2010. Um dos objetivos dos leilões, criados para reforçar a capacidade instalada em renovável, é garantir que os vencedores dos mesmos sejam projetos que baixem o máximo possível a tarifa paga pelos consumidores para a eletricidade. Em 2019, o preço base da licitação era 45€ /MWh e o leilão de energia solar em Portugal fixou o preço médio em 20,4€ /MWh. Este tipo de redução dos custos desta tecnologia torna-a competitiva. Quando adicionamos esta redução ao forte potencial do sol em quanto recurso, a energia solar fotovoltaica é fundamental para atingir os objetivos. A biomassa é outra fonte de energia renovável de origem vegetal ou animal podendo ser utilizada em todos os seus estados físicos. Utilizando resíduos florestais e queimando a biomassa é produzida eletricidade. Nos últimos 4 anos, Portugal apresentou 40,9 MW de capacidade instalada com proveniência de lixo municipal renovável. Segundo o PNEC 2030 (2019), as previsões quanto à biomassa apresentam uma fraca rentabilidade e uma baixa eficiência portanto, a produção de eletricidade com uso de centrais termoelétricas vai tendencialmente desaparecer. A quarta energia renovável que podemos citar é a geotérmica que utiliza o calor proveniente da Terra. Em Portugal em 2020, existe produção de eletricidade através da geotérmica nos Açores com 29,1 MW de capacidade instalada nos últimos 4 anos. Esta região tem potencial para desenvolver este tipo de recurso. Podemos ainda citar a energia renovável dos oceanos que se trata de uma energia "em desenvolvimento procurando melhorar o seu rendimento e a sua resistência ao ambiente marítimo", segundo a Agência Portuguesa de Energias Renováveis. A IRENA distingue várias energias dos oceanos, é considerado a energia da força das marés, das ondas, a energia gradiente de salinidade e a conversão térmica dos oceanos. Nos dados da IRENA (2019), verifica-se em 2017 e 2018 uma capacidade instalada em energia renovável marítima em Portugal 0,4 MW, estando a totalidade instalada na Ilha do Pico nos Açores onde se encontra a "primeira central do Mundo a produzir eletricidade a partir das ondas de forma regular", APREN (2021). Está mencionado no RNBC (2010) que, num cenário de elevada procura, a tecnologia das ondas torna-se competitiva. Esta energia conheceu um decréscimo em

relação a 2014 quando 1 MW estava instalado (Figura 7, anexo). Segundo o PNEC 2030 (2019), o potencial desta energia para o futuro é reconhecido através medias de expensão da Economia do Mar.

Antes de apresentar a última fonte de energia renovável, a eólica *onshore*, é necessário realçar aparição do hidrogénio. Esta nova energia renovável é identificada pela DGEG como sendo "uma fonte de energia de baixo carbono". Efetivamente, o hidrogénio torna-se sustentável se for produzido hidrogénio dito "verde" ou seja pela utilização de eletricidade e não de queima de combustíveis fósseis. Vários governos já estão a financiar a inovação e desenvolvimento para o hidrogénio nomeadamente o Governo francês ao construtor aeronáutico francês *AirBus*, para que este apresente projetos que funcionem com este tipo de energia renovável.

### 3.2 *Energia eólica onshore*

A última energia renovável, identificada pelas agencias mencionadas supra, é a energia eólica. Vamos nesta parte unicamente falar da eólica *onshore*, deixando para os capítulos seguintes a energia eólica *offshore*. A IRENA identifica a energia eólica como "a tecnologia de energia renovável de crescimento mais rápido". De facto, os parques eólicos são uma das fontes do renovável com maior crescimento a nível global. Esta energia funciona com a força de um capital natural inesgotável sendo ele o vento e consiste na produção de eletricidade a partir deste último recurso em terra. O uso deste tipo de energia reduz a dependência aos combustíveis fósseis e portanto participa na redução de emissão de dióxido de carbono na atmosfera para além do facto de ser saudável para a economia criando emprego nas regiões envolvidas e gerando benefícios financeiros para os acionistas. Para poder analisar os dados relativos à energia eólica, vamos tentar perceber o funcionamento desta energia. Existem vários sistemas eólicos: os sistemas isolados para abastecer certas regiões, os sistemas interligados à rede para inserir a energia na rede elétrica pública e por fim, os sistemas híbridos que produzem energia elétrica com mais de uma fonte de energia renovável. A transformação em eletricidade é provocada pelo impacto do vento na

rotação das turbinas comunicando com o eixo central que está ligado a um gerador, por sua vez ligado a um transmissor mecânico, produzindo assim eletricidade.

Até 2020, a fonte que produziu mais eletricidade no planeta a seguir à hídrica e à solar fotovoltaica, é a eólica *onshore* com cerca de 699 GW de capacidade instalada, segundo dados de 2020 da IRENA (Figura 8, anexo). A nível mundial, desde 2010 até 2020, a capacidade instalada da energia eólica *onshore* aumentou 3,9 vezes, segundo os últimos dados da IRENA. Por outras palavras, nesta última década, a eólica *onshore* aumentou em cerca de 293% quando contabilizamos todos os país que produzem eólica. A nível da União Europeia com 28 Estados Membros, o crescimento não foi tão importante, apesar da capacidade instalada ter mais que duplicado na última década, IRENA (2020). Na UE-27, excluindo o Reino Unido saído da UE em 2019, o crescimento desta energia não chegou a duplicar com 162,23 GW de capacidade instalada em 2020. Com a saída do país anglo-saxónico, a UE deixou de beneficiar, em termos absolutos, de cerca de 14,3 GW de potencia instalada em 2020 unicamente na energia eólica *onshore*, são aproximadamente 8,8% dos 162,23 GW instalados. O crescimento da eólica *onshore*, desde 2010 até 2020, desacelerou em 17,54% com a saída do Reino Unido. Estes números não são negligenciáveis para as metas de descarbonização da economia europeia na qual se insere Portugal.

No caso português da eólica *onshore*, o RNBC (2010) previa um esgotamento em 2020. Já, segundo o PNEC 2030 (2019), ainda existe um "potencial eólico *onshore* significativo por explorar" em Portugal, estando na segunda posição atrás da energia hídrica, em termos de capacidade instalada com 5 214 MW em 2020. Os números de 2010 (3796 MW de capacidade instalada), que cresceram de 37,36%, são bastantes inferiores quando comparamos com o crescimento mundial desta energia renovável, cerca de 8 vezes menos. De facto, o peso da eólica *onshore* no total instalado na UE desceu em perto de 1,5% na última década com um peso de 3,21% em 2020 no total da UE nesta energia.

A energia hídrica tem sido irregular em termos de GigaWatt por hora na produção bruta de energia elétrica ao longo do século 21 (Figura 9, anexo) deixando espaço para outras renováveis se desenvolverem. Na primeira década do século 21, os GW/h de

eletricidade produzidos em fonte eólica dispararam. A eólica produzia 256 GW/h em 2001, multiplicando-se por cerca de 36 vezes, atingindo 9 182 GW/h em 2010 (Tabela I, anexo). Foi a energia que conheceu maior desenvolvimento em GW/h juntamente com a solar fotovoltaica. Na segunda década do século, a eólica não teve um crescimento tão importante, conhecendo um abrandamento dos GW/h na produção de eletricidade desde 2013 (Figura 10, anexo). A capacidade instalada da energia eólica *onshore* em Portugal tem vindo a estagnar nos últimos 5 anos devido à aparição de novas tecnologias tais como a energia solar fotovoltaica ou a eólica *offshore*. A solar fotovoltaica também conheceu um abrandamento em termos de GW/h produzidos em relação à primeira década, mesmo assim crescendo 3 vezes mais que a eólica. De notar que, apesar deste crescimento da solar fotovoltaica, a eólica tem origem em 13 667 GW/h na produção de eletricidade em 2019, segundo dados da DGEG (2020), contra 1 342 GW/h para a solar fotovoltaica no mesmo ano (Tabela II, anexo).

O Governo português tem como perspetivas, de maneira a aumentar a produção de eletricidade com origem em renovável, no que diz respeito à energia eólica no seu todo, apostar numa primeira fase na eólica *onshore*. Poderá alcançar esse objetivo através investimentos na hibridização, no sobre equipamento e no *repowering* de forma a minimizar os custos para o utilizador e reduzir o impacto ambiental, segundo o PNEC 2030 (2019). Leia-se por sobre equipamento, nova potência instalada tirando partido da capacidade da rede desaproveitada. O investimento em *repowering* quanto a ele, consiste na substituição dos atuais parques eólicos que chegam a um fim de ciclo de vida de maneira a torná-los mais eficientes. Numa segunda fase, posterior à primeira, o Governo apostará na eólica *offshore*. Vamos agora interessar-nos nesta nova tecnologia emergente.

#### 4. A energia eólica *offshore* na economia global

##### 4.1 A aparição de uma nova tecnologia *offshore* e o seu desenvolvimento ao longo das décadas

###### 4.1.1 Histórico e apresentação global

A eólica *offshore* representa em 2020, 5% do total *onshore*. A energia eólica *offshore*, presente no mar, aproveita o recurso do vento de maneira mais consistente devido à abundância deste recurso natural quando se encontra mais longe da costa territorial, para além do facto de haver mais espaço no mar do que em terra. Neste sentido, o primeiro projeto de eólica *offshore*, chamado *Vindeby Offshore Wind Farm*, foi encomendado pela Dinamarca, em 1991 com uma instalação de 5 MW perto da costa terrestre e em águas pouco profundas. Só no início do século seguinte, em 2002, é que o primeiro parque eólico de larga escala, o *Horns Rev* no Mar do Norte, foi conectado à rede com 80 turbinas e um total de 160 MW de capacidade instalada. Este parque desenvolveu-se até chegar às 91 turbinas e 209 MW de capacidade. Depois da Europa ter lançado os primeiros projetos, seguiu-se o interesse em 2010 do continente asiático, e, mais recentemente em 2016, dos Estados Unidos da América (EUA). Estava aqui lançada a vontade de criar um novo mercado mais inovador e competitivo a nível mundial.

Começando pela Europa, sendo este o primeiro continente a ter desenvolvido a tecnologia eólica *offshore*, um rápido crescimento é notável - com 11,2 GW de capacidade instalada no final de 2015, em comparação com 1,2 GW instalados na Ásia, IRENA (2016), *Innovation Outlook*. Metade da capacidade instalada na Europa nessa altura era no Reino-Unido. Hoje em dia, trata-se do país com mais capacidade de gerar eletricidade por via eólica *offshore* com cerca de 10,4 GW em 2020. Relembre-se que, em 2020, no planeta, estão instalados aproximadamente 34,4 GW de capacidade, dos quais 90% no continente europeu no Mar do Norte e oceano Atlântico, IRENA (2020), *Foreseeing Blue Economy*. Segundo a Comissão Europeia (2020), em 2019, 93% da potência instalada em eólica "fixa" foi produzida na Europa. O RU é líder global na produção de eólica *offshore*, com 30% da produção global e 12 parques operacionais, dos quais o maior do mundo e único a ultrapassar 1 GW de capacidade instalada (1,2 GW). O *Hornsea One* dispõe de 174 turbinas capazes de gerarem energia suficiente

para um milhão de casas. O parque está situado a leste das Ilhas britânicas, a 140m da costa. Segue-se, atrás do RU como maior produtor europeu, a Alemanha com 7,7 GW de capacidade instalada em 2020. O país germânico é um dos países mais avançados neste tipo de tecnologia. Dispõe do seu maior parque eólico *offshore* no Mar do Norte com cerca de 500 MW instalados. Construído em 2017, o *Hohe See* situa-se a 98km da costa. Com a saída do RU da UE, a Alemanha coloca-se como líder da UE na produção de eólica *offshore*, seguida pela Bélgica, Países Baixos e Dinamarca.

O primeiro parque eólico *offshore* no continente asiático, e mais precisamente na China, apareceu em 2010 com 100 MW de capacidade instalada. No final de 2015, estavam cerca de 1,2 GW instalados e 2,5 GW em 2019, o que demonstra o rápido crescimento desta tecnologia no continente. A maioria esmagadora da capacidade de gerar eletricidade está instalada na China, com 95% do total do continente asiático em 2019, e as previsões mostram que terá pelo menos 46% do mercado asiático até 2030, segundo Shuxin Lim, gestor de políticas e comunicações da *Global Wind Energy Council Asia* (Figura 11, anexo). Em 2019, a China é o 3º maior produtor mundial de eletricidade através de eólica *offshore*, a seguir ao RU e à Alemanha. Excluindo este país, o mercado asiático ainda está em pleno desenvolvimento nomeadamente no Japão, em Taiwan, na Coreia do Sul e na Índia. Em 2020, a China superou a Alemanha com 8,99 GW de capacidade instalada. O desenvolvimento desta energia no país vai depender dos subsídios concedidos pelos governos provinciais, para além do desenvolvimento tecnológico, do qual todos os países dependem.

No que diz respeito ao novo mercado de eólica *offshore* em desenvolvimento localizado nos EUA, o primeiro projeto de eólica *offshore* foi conectado à rede em 2016, com uma capacidade de 29 MW na *East Cost* do país, em *Block Island*. Apesar dos EUA terem vários projetos em construção ou em desenvolvimento, segundo a IRENA (2021), em 2020, nenhuma capacidade para gerar eletricidade por via de eólica *offshore* foi adicionada. Podemos citar 2 projetos planeados para o futuro com elevadas ambições. As autoridades locais autorizaram em 2021, segundo a CNBC (2021), a construção do projeto *Vineyard Wind 1*, com capacidade de 800 MW que estará, em princípio, operacional para 2023. Este parque eólico será construído a mais

de 25 km da costa do estado do Massachusetts com 62 turbinas de 13 MW de potência cada uma. Existe um segundo projeto ambicioso previsto para estar operacional em 2024, com capacidade de 1,1 GW e a meta de 7,5 GW para 2035. Trata-se do parque *Ocean Wind*, que está em construção ao largo do New Jersey a cerca de 25 km da costa, Ocean Wind (2021). Vimos nesta parte que, a ambição de criar um mercado global está bem presente. O desenvolvimento deste mercado vai depender do progresso tecnológico que vamos analisar de seguida.

#### 4.1.2 O progresso tecnológico e a aposta na inovação

O objetivo de criar um mercado de eólica *offshore* a nível internacional de maneira a reduzir a emissões de CO<sub>2</sub>, está claramente fixado. A UE fixou metas ambiciosas para o mercado eólico *offshore*, por forma a ser o primeiro continente neutro em carbono em 2050. Prevê 300 GW instalados para 2050, sendo que, em 2020, somente 12 GW estão instalados. Com as políticas públicas implementadas até 2020, segundo a Comissão Europeia (2020), a UE só conseguirá atingir 90 GW em 2050. A nível mundial, a IRENA espera 228 GW de capacidade instalada em 2030 e 1000 GW em 2050. O crescimento das energias renováveis, e, em particular, da eólica *offshore*, tem de ser estimulado pela procura de energia, a evolução do preço da energia (LCOE) e pelo progresso tecnológico. O progresso tecnológico e a inovação são elementos chaves para o desenvolvimento da eólica *offshore*. Este avanço passará pela inovação na construção de maiores turbinas (mais potentes), o desenvolvimento do acesso aos parques eólicos (todo o processo de operação), trocando sinergias com indústrias mais antigas tais como o gás ou o petróleo, e ainda, pela maximização do recurso natural, tentando aproveitar a força do vento mais longe da costa e em águas mais profundas, a dita "*floating*". Estes elementos tornarão a indústria competitiva com as restantes do setor.

Do seu início até 2017, ano do primeiro parque eólico "*floating*" em operação, a indústria eólica *offshore* "fixa" estava concentrada no desenvolvimento da fundação, ou seja, da base que suporta a turbina que gera eletricidade. As fundações foram-se desenvolvendo até 2015, chegando a atingir os 40 m de profundidade. Nesse mesmo ano, também já se conseguia atingir o dobro de distância que separa o parque da

costa, quando comparamos com 2001, onde se conseguia atingir até 20 km da costa. A própria turbina conheceu um crescimento no que diz respeito à sua potência, passando de 2 MW por turbina em 2001 a 4 MW em 2015. Em 2021, no maior projeto em operação, o *Hornsea One*, estão instaladas turbinas de 7 MW de potência cada uma. Este desenvolvimento permitiu aumentar a produção de energia e reduzir os custos de fundação, de instalação e de operação, manutenção e serviço (OMS). Iremos desenvolver a questão dos custos, em particular do custo nivelado de eletricidade (LCOE), na segunda parte deste capítulo.

Voltando ao desenvolvimento da tecnologia das turbinas, da instalação e operação, ela permitiu-nos aceder a águas mais profundas e mais longe da costa para maior aproveitamento do vento. A inovação fez com que se conseguisse desenvolver a eólica *offshore "floating"*, permitindo aceder a mais de 50 m de profundidade e, pela mesma via, mais longe da costa, a mais de 80 km, abrindo a possibilidade de um novo mercado. Esta nova tecnologia tornou a instalação das turbinas mais fácil. Durante o período *pré-floating*, ou seja, antes da operacionalização do primeiro parque eólico *floating* na Escócia em 2017 com 30 MW de capacidade instalada, o Japão focalizou-se em desenvolver esta tecnologia para o futuro, devido às suas águas profundas. O governo japonês chegou a investir 700 milhões de dólares, juntamente com o setor privado, durante o período 2001-2015. No entanto, principalmente no continente europeu, investia-se no desenvolvimento da eólica "fixa" e ao desenvolvimento das suas turbinas. Desde 2017, a tecnologia *floating* tem vindo a aparecer com mais frequência, apesar de representar uma fração mínima da eólica *offshore*, com vários anúncios de projetos, nomeadamente 9 na Europa (Portugal, França e RU), 3 na Ásia (Japão e Coreia do Sul) e um nos EUA. No final de 2020, cerca de 124 MW estão instalados entre a Ásia e a Europa, segundo a Carbon Trust (2020), *Floating Wind Joint Industry Project*, o que representa menos de 0,4% do total instalado em energia eólica *offshore*. No que diz respeito ao futuro, espera-se para 2030 entre 5 GW e 30 GW de capacidade *floating*, e 150 GW para 2050, ou seja, aproximadamente 15% do total *offshore* neste tipo de energia renovável. O peso da *floating* vai-se tornando cada vez mais importante dentro do peso total em eólica *offshore*, pendente do avanço

tecnológico e do desenvolvimento das regiões. O progresso tecnológico neste tipo de energia teve, ao longo das décadas, um impacto nos custos, tornando-a cada vez mais competitiva com as outras energias renováveis.

## 4.2 *O custo nivelado de eletricidade da energia eólica offshore (LCOE)*

### 4.2.1 *Normalização da indústria eólica offshore*

Desde o desenvolvimento do 1º parque em 1991, a indústria eólica *offshore* foi evoluindo através da regulação do setor e da normalização da indústria. Uma norma é um consenso comum aprovado e reconhecido por todos os que a acordaram. Em 1988 foi criado um *comité* técnico internacional das normas para as turbinas eólicas mas somente em 2008 é que apareceu a primeira edição deste comité para as turbinas eólicas *offshore*. O *comité* fez com que os debates de normalização da indústria ocorressem a nível internacional. Hoje em dia, as normas são definidas e supervisionadas por organizações internacionais (WTO<sup>1</sup>, IEC<sup>2</sup> e ISO<sup>3</sup>). Em relação à normalização da eólica *offshore floating* a iniciativa de lançamento de normalização ocorreu em 2016, após a sua aparição. O desenvolvimento deste mercado, pelo interesse de vários países e a competitividade em termos de custos, fez com que as organizações internacionais trabalhassem na minimização do risco técnico para esta tecnologia. A normalização da indústria trouxe vários benefícios para os seus atores, começando pelo ambiente.

A regulação deste mercado permitiu que os grandes grupos e a influência dos acionistas não se aproveitassem dos recursos marítimos, maximizando os seus próprios interesses, que permitiu proteger o ambiente. As normas vieram favorecer a transparência e a inovação do setor. Esta transparência apoiou o aumento da influência e da participação dos acionistas nos projetos, o aumento a confiança para o

---

<sup>1</sup> World Trade Organization (WTO) é uma organização intergovernamental que regula o comércio internacional entre as nações.

<sup>2</sup> International Electrotechnical Commission (IEC) é uma organização internacional que prepara e publica normas tecnológicas internacionais nomeadamente normas da geração energética.

<sup>3</sup> A International Organization for Standardization desenvolve e publica normas técnicas, industriais e comerciais em todo o planeta, trabalhando em 166 países.

consumidor e a sua satisfação, beneficiando de recursos de melhor qualidade. A regulação melhorou o acesso ao mercado, sem que haja barreiras comerciais. Por fim, a normalização reduziu o risco e os custos associados, devido à otimização dos procedimentos de trabalho, aproveitando a experiência de indústrias mais antigas, e deste modo, aumentar a produtividade.

#### 4.2.2 Composição e evolução do custo nivelado da eletricidade

A IRENA (2016), *Innovation Outlook Offshore Wind*, define o custo nivelado de eletricidade ou LCOE como o preço da eletricidade necessário para um projeto ser viável, onde a taxa de retorno sobre o investimento iguala a taxa de desconto ou WACC<sup>4</sup> (custo médio ponderado do capital) durante o ciclo de vida do parque eólico. O cálculo não inclui os impostos e não tem em conta a inflação. A definição técnica assumida pela IRENA é a seguinte:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Podemos traduzir esta fórmula da seguinte forma: o "I" é as despesas em investimento/capital designado CAPEX<sup>5</sup>, o "M" é as despesas em Operação, Manutenção e Serviço (OMS) ou OPEX<sup>6</sup>, o "E" é a produção anual de energia, o "r" representa a taxa de desconto (WACC), durante o ano t e n anos de vida do projeto. Estes são os 4 principais parâmetros que têm maior impacto no custo da energia. Vamos agora ver a composição de cada elemento que interage no custo da energia, verificando que a produção anual de energia aumenta.

O CAPEX inclui o investimento no desenvolvimento tecnológico, nas turbinas, nas fundações, na interconexão elétrica (cabos) e na instalação. Entre 2001 e 2015, a capacidade das turbinas triplicou, enquanto o CAPEX aumentou em 40% durante o período, passando de USD 3,4 milhões/MW para USD 4,8 milhões/MW, o que mais do

---

<sup>4</sup> O Weighted Average Cost of Capital (WACC) corresponde à taxa de desconto ou seja, o custo antes de imposto tendo em consideração o custo da dívida, o capital próprio e a relação entre ambos.

<sup>5</sup> CAPEX significa Capital expenditure. Representa os custos incorridos no desenvolvimento e instalação de um parque eólico até à data de conclusão das obras.

<sup>6</sup> OPEX significa Operational expenditure. Representa os custos incorridos após a data de conclusão das obras, incluindo OMS e taxas de transmissão.

que compensou o investimento através da inovação tecnológica. Segundo IRENA (2016), *Innovation Outlook Offshore Wind*, um decréscimo do CAPEX e um aumento da produção anual de energia tem um maior impacto no custo da energia. Depois de um aumento das despesas em capital até 2015, relacionado com a inovação tecnológica, a tendência do CAPEX é de redução para 2030 e 2045, sendo então visíveis os benefícios da inovação (Tabela III, anexo).

O OPEX é composto pelo OMS, ou seja, todos os custos relacionados com a operacionalização, a monitorização, o planeamento no acesso e no transporte, e a logística. De 2001 a 2015, as despesas em operacionalização reduziram-se, passando de USD 235000/MW para USD 135000/MW. Os custos em OMS *offshore* são superiores aos *onshore*, devido à sua complexidade e à sua incerteza quanto ao ciclo de vida, em particular longe da costa. O desenvolvimento das turbinas reduz os custos de OMS e favoriza a amortização dos mesmos, adicionado a uma redução dos custos de instalação, fazendo com que economias de escala sejam criadas, permitindo uma redução do LCOE, causado também pelo aumento da captação de energia. Segundo a IRENA (2020), *Power Generation Cost*, entre 2010 e 2020, assistimos a um aumento de 150% da capacidade das turbinas. A inovação tecnológica, seja no CAPEX, seja no OPEX, durante o período 2001-2015, consistiu principalmente no investimento em turbinas, na conexão elétrica à rede e na OMS. O investimento no aumento da capacidade das turbinas e a sua operacionalização, foi o que criou maior impacto no custo da eletricidade, com uma redução de 20% durante os 15 primeiros anos do século (Tabela IV, anexo).

O último elemento trata-se do custo médio ponderado do capital (WACC) que está relacionado com o custo de financiamento, no sentido em que pode ou não estar incorporado em cada elemento do parque eólico, contribuindo para o custo nivelado de eletricidade. Se o WACC for nulo em termos reais, então a contribuição do custo de financiamento para o custo da energia é removida, ou seja, quanto mais baixa for a taxa de desconto, mais o custo de financiamento é reduzido. Esta redução vai permitir aumentar a contribuição do CAPEX para o LCOE. É possível baixar o custo de financiamento, mas não o eliminar totalmente, através a minimização do risco,

aumento da oferta financeira e redução do tempo entre o CAPEX e o início da produção de energia. A taxa de desconto não é igual em todos os países, está dependente dos custos de empréstimo, da situação regulatória e das políticas económicas no país em questão.

Nos países membros da OCDE<sup>7</sup> e na China os custos de empréstimos são baixos e a situação regulatória é estável. O WACC, em termos reais, passou de 7,5% em 2010 para 5% em 2020. No resto do planeta, a taxa de desconto também baixou de 10% em 2010 para 7,5% em 2020, segundo IRENA (2020), *Power Generation Cost*. Vimos a importância de reduzir o custo médio ponderado do capital, o que vai permitir impactar o custo da energia.

#### 4.2.3 Uma oportunidade de mercado

A indústria *offshore* transformou-se em cerca de 15 anos, tendo começado na Europa com custos comerciais elevados, para chegar, hoje em dia, a uma solução competitiva, sem apoio financeiro ou subsídios. Durante o período de 2001 até 2010, o custo da energia reduziu-se em 32,5%, passando de USD 240/MWh para USD 162/MWh. Esta redução deve-se às economias de escala, à normalização da indústria e a uma redução dos custos de capital. A inovação nas turbinas e o aumento da confiança dos atores envolvidos, nomeadamente dos governos, fez com que houvesse mais investimento que favorecesse a redução do custo da energia e abrisse a possibilidade de abrir um novo mercado. A média ponderada do custo total de instalação duplicou entre 2000 e 2015, atingindo USD 5 000 /kW e reduziu-se para USD 3 185 /kW em 2020, com os projetos *floating* (Figura 12, anexo). Esta redução deve-se à redução do risco, devido a políticas governamentais mais estáveis, ao preço das matérias primas mais baixos e ao desenvolvimento das turbinas. O crescimento da capacidade de produção das turbinas, da capacidade instalada (Figura 13, anexo) e da tecnologia *floating*, juntamente com a redução dos custos de instalação, permitiu um aumento da captação de energia e, por sua vez, da média ponderada global de

---

<sup>7</sup> A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) é uma organização intergovernamental com 38 países membros, dos quais Portugal, que estimula o progresso económico através de políticas que melhoram o bem estar económico e social de todos.

capacidade dos fatores, com um crescimento de 19% desde 2010 até 2019, passando de 38% para 45%. Constata-se uma ligeira diminuição para 40% em 2020 (Figura 12, anexo).

O LCOE conheceu outro decréscimo de 41%, atingindo USD 115 /MWh em 2019 (Figura 14, anexo). No entanto, a média ponderada total do LCOE sofreu um ligeiro aumento entre 2010 e 2014, devido ao desenvolvimento de projetos mais longe da costa e em águas mais profundas (eólica *offshore floating*). O custo da energia chegou a atingir USD 183 /MWh em 2014. Desde então, o LCOE seguiu o seu decréscimo até atingir USD 84 /MWh em 2020, segundo IRENA (2020), *Power Generation Cost*. No relatório da IRENA de 2016, considerava-se importante que o custo da energia se reduzisse abaixo dos USD 100 /MWh em 2030. Apesar de existirem países ainda com um LCOE, na indústria eólica *offshore*, acima dos USD 100/MWh, a média ponderada atingiu o seu objetivo uma década antes do previsto. No seu geral, a média ponderada global do LCOE desceu 48% entre 2010 e 2020. Podemos ver na Tabela V (anexo), que, no seu global, na Europa, todos os países têm um LCOE abaixo dos USD 0,1 /kWh e, na Ásia, o país com mais capacidade instalada e onde a eólica *offshore* está mais desenvolvida (a China), o LCOE também está abaixo da meta.

As políticas dos governos contribuíram para a redução dos preços, principalmente através das "*auctions*" ou leilões (primeiros anúncios de leilões em 2018 e 2019), ou por exemplo, iniciativas do *Carbon Trust*, que vamos introduzir na terceira parte deste capítulo, a *Offshore Wind Acceleration*, também permitiram acelerar a redução dos custos. Esta iniciativa contribuiu em 15%, para a redução do custo da energia em média, para projetos eólicos *offshore*. O impacto dos leilões deveria situar entre USD 0,05/kWh e USD 0,1/kWh o LCOE da eólica *offshore* na Europa até 2023 (Figura 15, anexo). Este setor conhece prazos de entrega mais longos, quando comparamos com as outras fontes de energia, pelo que a redução dos custos leva mais tempo aparecer anualmente. Vamos agora tentar perceber quais são os atores envolvidos no processo desta indústria e os benefícios que o planeta e as suas populações podem retirar desta fonte de energia renovável.

### 4.3 *Os atores envolvidos no setor da eólica offshore e o resultado das políticas públicas adaptadas à política energética*

#### 4.3.1 *Os atores envolvidos em todo o processo*

Em todo o decorrer da indústria eólica *offshore*, sendo esta o tema central da nossa investigação, vamos encontrar atores envolvidos, primeiro, no investimento, ou seja, antes da implementação de um projeto e, depois, durante o seu ciclo de vida. Inicialmente, teremos uma ideia como base para proceder aos investimentos a seguir. Neste caso, o setor público quer defender convicções, definir metas, elaborar um plano e implementá-lo. O objetivo comum seria desenvolver esta indústria, como meio alternativo aos combustíveis fósseis, criando um mercado azul e, *in fine*, favorecer a economia "azul". Os governos efetuam investimentos para o desenvolvimento do mercado buscando benefícios. A UE também procede a investimentos através de fundos e programas europeus que financiam projetos novos em eólica *offshore*. Segundo a Wind Europe (2020), *Wind energy and economic recovery in Europe*, a Europa investiu, em 2020, cerca de 26 mil milhões em novos parques eólicos, o que mostra a confiança, a resiliência e a aposta nesta indústria pelos investidores e governos. O investimento é um recorde, quando comparamos com os 25,7 mil milhões de dólares investidos em 2018 a nível global, cerca de 20% do total eólico. Programas, tais como o NER300 a nível europeu, apoiam a inovação de energias renováveis e tecnologias de baixo carbono, dentro das quais a eólica *offshore*. A China é líder em gastos na eólica *offshore* com projetos de 11,4 mil milhões de dólares contra 3,3 mil milhões de dólares na Europa, IRENA (2020), *Fostering Blue Economy*.

No setor privado da indústria, vamos encontrar todos os parceiros, especialistas ou operacionais. Na Europa, para contribuir à elaboração dos diferentes planos de ação dentro da própria indústria eólica *offshore*, os governos, empresas e organizações apelam a parceiros especialistas como o *Carbon Trust*. O seu papel está na aceleração da redução dos custos da indústria e no estímulo da rede de fornecimento, no suporte ao mercado eólico *offshore* europeu. Procedem a consultoria especializada em políticas e análise de mercado para os governos e multinacionais, de maneira a apoiar as suas metas ambiciosas deste setor. No que diz respeito aos parceiros "operacionais", estão envolvidas as empresas e grandes grupos privados que se

ocupam de cada parte da cadeia de valor. Juntamente com o setor público, o setor privado financia novos projetos ou desenvolvimento de projetos existentes. O setor privado atua também no fornecimento de eletricidade para os consumidores. Podemos citar alguns grandes grupos que trabalham no aumento da capacidade instalada dos parques, no armazenamento da energia, na construção de plataformas e turbinas, em suma toda a cadeia que contribuí para a produção geral de eletricidade e o seu fornecimento, tais como a TOTAL, a Equinor, a Orsted, a Shell, a EDF *Renouvelables*, a EnBW, a Iberdrola, a Galp e a Siemens. Os beneficiários são as populações, que usufruem de um mercado concorrencial e preços mais vantajosos, o planeta, pelas reduções de gases poluentes, e por fim, o mercado de trabalho, que vamos analisar na seguinte e última subparte deste capítulo.

#### 4.3.2 *Os benefícios socioeconómicos resultantes da indústria*

A indústria eólica *offshore*, estabelecida e madura, segue estimulando o crescimento e o mercado de trabalho, pela criação de valor na atividade económica. De facto, o setor eólico *onshore* está muito mais desenvolvido do que o setor *offshore* por ser mais antigo, criando mais empregos. No entanto, os parques eólicos *offshore* tendem a necessitar de mais mão-de-obra do que os parques *onshore*, segundo a IRENA (2020), *Fostering Blue Economy*. Os projetos *offshore* podem usufruir de competências da experiência de outras indústrias e alavancar capacidades técnicas da eólica *onshore*. Existe uma troca de sinergias positivas com indústrias, tais como o gás ou o petróleo, na instalação e conexão à rede, mas também, no que diz respeito ao transporte marítimo. A transição energética veio enfraquecer o setor dos combustíveis fósseis, neste sentido, a indústria eólica *offshore*, pode ir buscar mão-de-obra empregada nesse setor. Para além da troca de sinergias, o setor privado e o setor público investem neste mercado, criando empregos diretos ou indiretos. A China é líder em novas instalações, o que leva ao crescimento de empregos e gera benefícios domésticos. A Europa pretende recuperar liderança pela maximização dos benefícios para a região. A criação de valor efetua-se em toda a cadeia, desde o planeamento até à OMS, passando pela instalação, fabricação de equipamento, transporte e conexão à rede. Existem empregos diretos e empregos indiretos ligados à atividade económica do

parque eólico, ou seja, a área relacionada com o planeamento, a operação e a monitorização (técnicos, engenheiros, analistas, juristas e especialistas). Alguns países optam pela fabricação de equipamento, o que favorece a criação de emprego na área de produção industrial e compra. Os países que optam por não produzir, vão criar emprego noutra segmento, como é o caso do OMS. A localização e o tipo de emprego vão depender do nível de implementação do projeto em cada país e do grau de aproveitamento das bases industriais.

Na produção e fabricação de equipamento, a maior fatia de empregabilidade dos recursos humanos é constituída por operários (contratados localmente). A produção num dado país vai depender do nível de procura local ou regional de energia, da disponibilidade de matérias primas e dos custos de transporte. Esta indústria requer a comprar de produtos específicos e matérias primas, que, se forem adquiridas domesticamente, maximizarão a criação de valor no país. O processo de planeamento é a fase que requer mais conhecimento, mão-de-obra qualificada, nomeadamente na fase de desenvolvimento do projeto, mas sobretudo na avaliação técnica e na avaliação do impacto ambiental do projeto. São necessários especialistas jurídicos, de regulação e logística, analistas financeiros, técnicos, engenheiros e toda a tripulação do navio, tal como para a fase de instalação e conexão à rede, que costuma ocorrer nos últimos 2 anos e para a fase de operação e manutenção. Já na fase de desativação, será necessária mais mão-de-obra manual. Em termos de números, os dados mostram os empregos criados no setor da eólica, sendo difícil distinguir os benefícios somente para a *offshore*. À escala da UE, após investimento na indústria, foram criados 300 000 novos empregos no setor eólico em 2019, dos quais 160 000 empregos diretos e 140 000 indiretos. A *WindEurope* estima em 77 000 os novos empregos criados em *offshore*, ou seja, cerca de 25% do total dos empregos eólicos. Entre 2011 e 2019, a capacidade instalada aumentou na Europa, tal como o número de empregos, que aumentou aproximadamente 15% em 8 anos, o que representa mais de 40 000 novos empregos na indústria (Figura 16, anexo). O PNC 2030 prevê 450 000 novos empregos para 2030, dos quais 200 000 em eólica *offshore*. Neste cenário otimista, o número de empregos na *offshore* seria multiplicado por 2,6, passando de 77 000 para 200 000

empregos. No cenário pessimista, ou seja, sem políticas públicas e sem ambição de alcançar as metas, a *offshore* perderia a potencial criação de 50% de empregos e 33% em *onshore* (Figura 17, anexo).

O setor eólico pode conhecer um crescimento importante do mercado de trabalho, pendente do desenvolvimento da indústria, atingindo 3,3 milhões de novos empregos sustentáveis ao longo de 25 anos de ciclo de vida do projeto, segundo o *Global Wind Energy Council* (GWEC, 2021). Este crescimento chegaria a toda a cadeia de valor, até à desativação de um parque. Os 751 GW instalados até 2021 na eólica geraram até 1,2 milhões de empregos em todo o planeta, segundo IRENA. Novos empregos seriam criados, como já vimos, na Europa, mas também na Ásia (China, Taiwan, Índia), nos EUA, no Brasil e na África do Sul. A transição energética da indústria oferece a possibilidade de criação de empregos "verdes" e crescimento económico, e assim, ajudar os governos a obterem benefícios socioeconómicos através de metas ambiciosas no setor.

## 5. Rumo à neutralidade carbónica para 2050 em Portugal

### 5.1 O caso prático português de eólica *offshore*

À data de hoje, em 2021, Portugal só tem uma das tecnologias *offshore* existentes, instalada e em operação, tratando-se da tecnologia *floating*. Como já foi referido ao longo deste trabalho, Portugal apresenta um elevado potencial quanto à eólica *offshore*, devido à importante densidade de costa marítima, mas tem o limite de ter águas profundas, pelo que, somente a tecnologia *floating* será possível de instalar ao largo do continente. Além disso, ainda é necessário verificar os possíveis conflitos de interesse com outras atividades marítimas e, também, ter em conta o ecossistema marítimo que pode ser afetado. Já em relação às ilhas, seria eventualmente possível instalar eólica *offshore* fixa, graças à baixa profundidade do solo marítimo.

Portugal foi o primeiro país do planeta a instalar uma tecnologia de eólica "*floating*" em águas profundas e abertas, em 2011, no norte do país, aproveitando os ventos fortes da região. A turbina e a base da mesma foram construídas em Setúbal e rebocadas para diminuir os custos tipicamente elevados de transporte e instalação no

mar. A montagem das turbinas foi efetuada em Espanha. Ao longo da década, a turbina foi sobrevivendo a ventos de alta intensidade e altas ondas, sendo esta a maior alguma vez instalada num parque flutuante. No decorrer dos anos 2019 e 2020, foi instalado o primeiro parque eólico flutuante da Europa, composto por 3 turbinas com capacidade de 8,4 MW cada uma. Nasceu então o parque *WindFloat Atlantic*, ao largo de Viana do Castelo, a cerca de 20km da costa e com 100m de profundidade, com capacidade total de 25 MW, atingindo um terço da meta de 75 MW prevista para 2020 no PNAER (2013). O objetivo nacional é atingir os 3,5 GW em 2050, ou seja, pouco mais de 1% do peso total da UE para 2050 (300 GW), duplicando mesmo assim o seu peso quando comparamos com o objetivo para 2030 de 0,3 GW em Portugal (60 GW na UE). Este parque já se encontra operacional e é detido por um consórcio que inclui a EDP Renováveis (EDPR), maioritária (54,4%), a Repsol (19,4%), a empresa francesa *Engie* (25%) e a empresa americana *Principle Power* (1,2%). A EDPR coloca-se como um líder mundial em tecnologia de energia eólica *offshore* e reforça a importância da geração renovável no setor energético. Segundo a EDPR, a versão *offshore* da eólica precisa de um menor número de turbinas para atingir uma maior capacidade, ou seja, estas últimas são mais produtivas que as eólicas *onshore*. A instalação da eólica *offshore* permite uma diversificação da origem da energia e representa um progresso tecnológico considerável para a descarbonização do setor e da economia. O projeto *WindFloat Atlantic* foi financiado por fundos europeus e nacionais dedicados à inovação e ao desenvolvimento, nomeadamente o NER300 e o Fundo Português de Carbono. Portugal terá benefícios sobre o crescimento económico, sobre a criação de emprego qualificado e sobre o ambiente. Segundo a Ocean Wind (2021), com este projeto, foram criados 1500 empregos diretos e indiretos. A capacidade instalada permite fornecer eletricidade a 60.000 famílias por ano e poupar cerca de um milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>.

## 5.2 A descarbonização do setor energético em Portugal

Em Portugal, a maioria esmagadora dos GEE são emitidos pelo sistema energético, o que tem favorecido o aumento da quota de energia renovável na produção e no consumo final bruto de energia. Portugal pretende contribuir para a descarbonização da sua economia através da redução de GEE e pelo uso de energias renováveis. Para tal, apoia-se em roteiros e programas, tendo como principais instrumentos de política energética o PNEC 2030 e o RNC 2050, cada um com metas diferentes, mas com o mesmo objetivo: atingir a neutralidade carbónica em 2050. Na análise do gráfico que vamos estabelecer, existem duas curvas: a primeira não contabiliza as emissões de LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forests*) e a segunda contabiliza-as. Estas emissões estão relacionadas com as altas temperaturas, incêndios e graves eventos florestais. Vamos orientar o nosso interesse para a curva sem contabilizar as emissões de LULUCF. Podemos distinguir duas fases, em relação à trajetória das emissões de GEE. Desde 1990, as emissões de GEE aumentaram consideravelmente, até atingir o pico no período 2002 a 2005. As emissões aumentaram em cerca de 46% durante o período 1990 a 2005. Já no período 2005 até 2019, as emissões reduziram cerca de 26%, apesar de, no período global, as emissões terem aumentado em aproximadamente 8% (em 2019 quando comparado com 1990) (Figura 18, anexo).

No que diz respeito ao setor energético, de notar um decréscimo de 27,2%, de 2018 para 2019, devido à maior proporção de renovável na produção elétrica nacional. Espera-se, segundo o RNC 2050, uma produção de 90% em renovável em 2050. Sendo este setor considerado o mais emissor de GEE, têm de existir maiores restrições para o mesmo. Em primeiro lugar, temos de distinguir dois tipos de cenários: cenário Alto e cenário Baixo, sendo estes cenários extremos. O cenário Baixo é definido no RNC 2050 como um cenário de fraco crescimento económico e de redução da população. O cenário Alto representa um cenário de evolução do PIB a uma taxa de 3%, entre 2016 e 2050, elevada procura de energia e um aumento da população. A eólica *offshore* torna-se competitiva num cenário Alto com elevada procura de energia. Para poder atingir as metas nacionais para 2050 de redução das emissões de carbono entre 50% e

60% em relação a 1990 (redução entre 85% a 90% em relação a 2005), passando por uma redução entre 45% e 55% até 2030 em relação a 1990, Portugal tem de adotar políticas públicas com restrições de 60% a 70% sobre o setor energético face a 1990, segundo o RNC 2050. Estas restrições, conjugadas com outros setores, permitirão convergir para uma economia competitiva baixa em carbono em 2050.

As emissões de GEE continuaram a aumentar até 2020, entre 12% e 20% em relação a 1990, em ambos os cenários, sendo que as restrições sobre a emissão de GEE começaram nesse ano. Desde então, no cenário Baixo, somente notamos uma real diferença em 2050 nas trajetórias sem restrições e com restrições sobre o setor energético, sendo iguais até 2030. Neste mesmo cenário, espera-se uma redução de 52% dos GEE para restrições sobre o setor energético de 60% e uma redução de 60% dos GEE para restrições de 70%, atingindo as metas previstas de descarbonização do setor. Mesmo sem restrições, de notar uma redução de 27% dos GEE. No cenário Alto é visível, já em 2030, a diferença entre as trajetórias sem restrições e com restrições. Enquanto na trajetória sem restrições, a partir de 2030, as emissões de GEE continuam a aumentar, nas trajetórias com restrições as emissões diminuem até atingirem uma redução de 48% e de 56% dos GEE para restrições de 60% e 70% respetivamente (Tabela 6a, anexo).

Retém-se que, para restrições dos GEE de 70% sobre o setor energético, Portugal atinge as metas previstas para a descarbonização do setor, em qualquer cenário. O objetivo europeu é chegar à emissão de 2 toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante em 2050. Portugal pode potencialmente aproximar-se dos objetivos, com fortes restrições sobre o setor energético, atingindo uma emissão de 2,2 toneladas *per capita* em 2050, para restrições de 70% dos GEE, em relação a 1990, e num cenário de elevada procura de energia (Tabela 6b, anexo). As medidas de políticas públicas para os próximos 30 anos serão fundamentais para uma transição energética justa e uma economia de baixo carbono, ambicionando a neutralidade carbónica em 2050.

## 6. Conclusões

A presente dissertação, no quadro do trabalho final de mestrado, permitiu aprofundar a investigação do tema da eólica *offshore* a nível global e o seu contributo para a descarbonização do setor energético em Portugal, convergindo para uma economia nacional de baixo carbono. Durante a investigação, notámos que o objetivo de redução das emissões de GEE não se trata de um problema individual próprio a um dado país. A melhoria da qualidade do ar, através desta redução, representa um benefício comum, pelo que, somente com uma transição energética justa e com medidas políticas é que os países conseguirão maximizar os seus benefícios socioeconómicos. A transição energética do setor eólico *offshore* depende no entanto das políticas públicas e da coordenação nos diferentes países e regiões mundiais. Este setor é considerado o maior emissor de GEE, portanto a descarbonização passará pela produção de eletricidade "limpa".

Foi analisado que o uso das energias renováveis, em particular a eólica *offshore*, apoia o crescimento económico, criando oportunidades no mercado de trabalho e no consumo de eletricidade, e favorece o bem estar geral da sociedade. Os decisores políticos necessitam analisar com cautela todo o processo, incluindo a cadeia de valor, para maximizar a criação de valor interno do país e alavancar o mercado de trabalho, tal como reforçar a capacidade das indústrias existentes. Vimos que a eólica *offshore* se trata de uma tecnologia recente quando a comparamos com outras energias renováveis, tem ganhado cada vez mais maturidade ao longo dos anos, gerando o interesse de vários países do globo, para investirem nesta energia. Esta tecnologia tem mais disponibilidade em áreas contínuas, não é poluente visualmente para os cidadãos como é o caso da *onshore*, e aproveita a intensidade do vento, mais importante longe da costa. Em termos económicos, a redução do custo nivelado da eletricidade e o aumento da capacidade instalada atestam a competitividade crescente da eólica *offshore*. A competitividade favorece o crescimento económico, pelo apoio à inovação no setor, e o desenvolvimento do mercado de trabalho, pela criação de emprego.

A consciencialização do desafio climático que espera os governos, com objetivo de criar uma economia de baixo carbono e neutra em carbono em 2050, é notável pelo peso crescente do uso do renovável na produção de eletricidade. Portugal está em linha com os objetivos fixados pela UE, na qual se insere. Dentro da energia eólica, a *offshore* tem crescido mundialmente. Países que, à partida, tinham elevado potencial marítimo, mas que não podiam instalar a eólica fixa devido à profundidade das águas, puderam instalar a eólica *floating*, graças ao desenvolvimento tecnológico, como é o caso em Portugal. O governo português fixou metas ambiciosas para este tipo de tecnologia, que lhe permitirão ganhar importância a nível europeu e maximizar os seus benefícios socioeconómicos, favorecendo o crescimento económico.

## Referências bibliográficas

António Costa Silva (2020), Plano de Recuperação Económica e Social de Portugal 2020-2030, Governo de Portugal. Disponível em:

<https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/documento?i=visao-estrategica-para-o-plano-de-recuperacao-economica-de-portugal-2020-2030>

Associação Portuguesa de Energias Renováveis (2020), Boletim Eletricidade Renovável, APREN. Disponível em:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjQ7ebQ\\_MbuAhUBonEKHT7XB0EQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.apren.pt%2Fcontents%2Fpublicationsreportcarditems%2Fboletim-renovaveis-dezembro-2020.pdf&usg=AOvVaw24\\_uzgwsy1jIYjhrAFB03C](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjQ7ebQ_MbuAhUBonEKHT7XB0EQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.apren.pt%2Fcontents%2Fpublicationsreportcarditems%2Fboletim-renovaveis-dezembro-2020.pdf&usg=AOvVaw24_uzgwsy1jIYjhrAFB03C)

Associação Portuguesa de Energias Renováveis (2021), atualizado em setembro 2021, APREN. Disponível em:

<https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/destaques>

Carbon Trust (2020), *Floating Wind Joint Industry Project: Phase 2 summary report*. Disponível em:

[https://prod-drupal-files.storage.googleapis.com/documents/resource/public/FWJIP\\_Phase\\_2\\_Summary\\_Report\\_0.pdf](https://prod-drupal-files.storage.googleapis.com/documents/resource/public/FWJIP_Phase_2_Summary_Report_0.pdf)

Carbon Trust (2021), *Offshore Wind Accelerator*. Disponível em:

<https://www.carbontrust.com/our-projects/offshore-wind-accelerator-owa>

Center for Environmental and Sustainability Research, CENSE (2020), O papel da eletrificação no futuro de descarbonização em Portugal. Disponível em:

[https://drive.google.com/file/d/1XKMrGNumnfTmm-iqAOIZ\\_HKzUI0Tqg\\_N/view](https://drive.google.com/file/d/1XKMrGNumnfTmm-iqAOIZ_HKzUI0Tqg_N/view)

Comissão Europeia (2019), *Green Deal*. Disponível em:

[https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_fr](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr)

Comissão Europeia (2020), Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho da UE. Disponível em:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0264&from=PT>

Comissão Europeia (2021), *Connecting Europe Facility*. Disponível em:  
<https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility>

Consumer News and Business Channel (2021), *A huge moment: U.S. gives go-ahead for its first major offshore wind farm*, CNBN. Disponível em:  
<https://www.cnn.com/2021/05/12/us-gives-go-ahead-for-first-major-offshore-wind-farm-.html>

Direção Geral de Energia e Geologia (2021), tirado do Observatório da Energia , atualizado a 04/02/2021. Disponível em :  
<https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros/portugal/2004/2019/stacked-bar/percent/2248-2288-2290>

Fatih Biral (2021), "*Net zero by 2050 plan for energy sector is coming*", tirado do *Financial Times*. Disponível em:  
<https://www.ft.com/content/6c5e29e1-283e-4df8-a402-ce09fcec3bda>

Fundação para a Ciência e Tecnologia desenvolvido em colaboração pelo CEETA-ECO, IDMEC, LNEG e o WAVEC (2011), *Road Map para as Energias Offshore em Portugal*. Disponível em:  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjHIKHN-cbuAhXLYcAKHeVGAYcQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Ffenix.tecnico.ulisboa.pt%2FdownloadFile%2F566729524642670%2FRoadMapEnergiasOffshorePortugal.pdf&usq=AOvVaw2FhIbOBhELo4gBm-NaOlzh>

Governo Federal do Brasil (2018), Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Disponível em:  
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwicmdPT-MbuAhVKasAKHcLkCLYQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ipcc.ch%2Fsite%2Fassets%2Fuploads%2F2019%2F07%2FSPM-Portuguese-version.pdf&usq=AOvVaw2xnUG2YZhzFVshPSpdxEFk>

Global Wind Energy Council (2020), *Asia Pacific to Become Largest Offshore Wind Power Market by 2030*, GWEC. Disponível em:  
<https://www.evwind.es/2020/09/09/asia-pacific-to-become-largest-offshore-wind-power-market-by-2030/77089>

Global Wind Energy Council (2021), *Wind can power 3.3 million new jobs worldwide over next five years*, GWEC. Disponível em:

<https://gwec.net/wind-can-power-3-3-million-new-jobs-worldwide-over-next-five-years/>

Governo de Portugal (2010), Roteiro Nacional de Baixo Carbono para 2050 (RNBC), tirado da Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em:

[https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Clima/Mitiga%C3%A7%C3%A3o/RNBC/RNBC\\_COMPLETO\\_2050\\_V04.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Mitiga%C3%A7%C3%A3o/RNBC/RNBC_COMPLETO_2050_V04.pdf)

Governo de Portugal (2013), Plano Nacional de Ação de Energias Renováveis (PNAER) 2013-2020, tirado da Associação Portuguesa da Energia. Disponível em:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjq8ubx4cDzAhUHohQKHeLEAR8QFn0ECBIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.apenergia.pt%2Fuploads%2Fdocs%2Fapresentacao\\_Pedro\\_Cabral\\_Final.pdf&usg=AOvVaw0ZsCb3CeukEmmVGK3npYLO](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjq8ubx4cDzAhUHohQKHeLEAR8QFn0ECBIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.apenergia.pt%2Fuploads%2Fdocs%2Fapresentacao_Pedro_Cabral_Final.pdf&usg=AOvVaw0ZsCb3CeukEmmVGK3npYLO)

Governo de Portugal (2019), Plano Nacional de Energia e Clima para 2030 (PNEC), elaborado pelo Gabinete do Ministro do Ambiente e da Ação Climática. Aprovado em Conselho de Ministros (21/05/2020) Disponível em:

<https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBAAAAB%2bLCAAAAAAABACztDQyAgDZs3qiBAAAA%3d%3d>

International Energy Agency (2020), *Projecting costs of generating electricity*, disponível em:

<https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>

International Renewable Energy Agency (2016), *Floating Foundations*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_Offshore\\_Wind\\_Floating\\_Foundations\\_2016.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Offshore_Wind_Floating_Foundations_2016.pdf)

International Renewable Energy Agency (2016), *Innovation outlook offshore wind*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_Innovation\\_Outlook\\_Offshore\\_Wind\\_2016.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Innovation_Outlook_Offshore_Wind_2016.pdf)

International Renewable Energy Agency (2018), *Nurturing Offshore Wind Markets: Good practices for international standardisation*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA\\_Nurturing\\_offshore\\_wind\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_Nurturing_offshore_wind_2018.pdf)

International Renewable Energy Agency (2018), *Renewable Energy Benefits: Leveraging local capacity for offshore wind*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA\\_Leveraging\\_for\\_Offshore\\_Wind\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/May/IRENA_Leveraging_for_Offshore_Wind_2018.pdf)

International Renewable Energy Agency (2019), *Wind Energy*, IRENA, atualizado em 2021. Disponível em:

<https://www.irena.org/wind>

International Renewable Energy Agency (2020), *Fostering a blue economy: offshore renewable energy*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA\\_Fostering\\_Blue\\_Economy\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Fostering_Blue_Economy_2020.pdf)

International Renewable Energy Agency (2021), *Impacts Innovation*, IRENA. Disponível em:

[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_Impacts\\_Innovation\\_2021.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Impacts_Innovation_2021.pdf)

Ocean wind (2021), *The first offshore wind project in New Jersey delivering 1,100 MW of clean, reliable energy*. Disponível em:

<https://oceanwind.com/>

Ocean wind (2021), *Windfloat Atlantic Project*. Disponível em:

<https://www.oceanwinds.com/projects/windfloat-atlantic-project/>

Parlamento Europeu (2021), Mercado interno da energia. Disponível em:

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/45/mercado-interno-da-energia>

Pedro Amaral Jorge (2021), " Renováveis criam três vezes mais emprego do que combustíveis fósseis", Dinheiro Vivo. Disponível em:

<https://www.dinheirovivo.pt/opiniao/renovaveis-criam-tres-vezes-mais-emprego-do-que-combustiveis-fosseis-13194911.html>

United Nations Environment Programme (2019), *Emissions Gap Report 2019*, UNEP. Disponível em:

<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30797/EGR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wind Europe (2020), *Wind energy and economic recovery in Europe*. Disponível em:

[https://proceedings.windeurope.org/biplatform/rails/active\\_storage/blobs/eyJfc mFpbHMiOmsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBaFDliwiZXhwIjpudWxsLCJwdXIiOiJibG9iX2lkIn19--b2387d6fcb7d7bd6207a2b642e0a7dc4fb96960b/WindEurope-Flagship-report-2020.pdf](https://proceedings.windeurope.org/biplatform/rails/active_storage/blobs/eyJfc mFpbHMiOmsibWVzc2FnZSI6IkJBaHBBaFDliwiZXhwIjpudWxsLCJwdXIiOiJibG9iX2lkIn19--b2387d6fcb7d7bd6207a2b642e0a7dc4fb96960b/WindEurope-Flagship-report-2020.pdf)

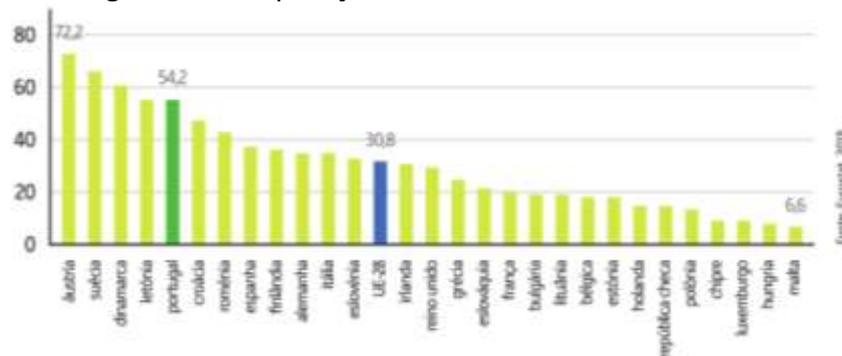
## ANEXOS

**Figura 1** - Evolução da trajetória mínima de FER no consumo final bruto de energia



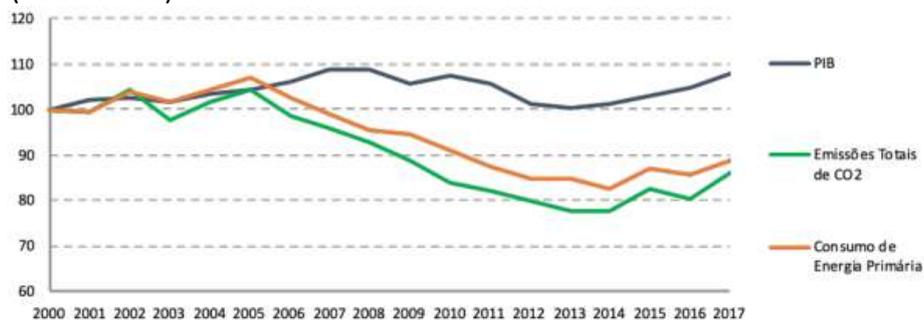
Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), 2019

**Figura 2** - Percentagem de incorporação de renováveis no setor da eletricidade



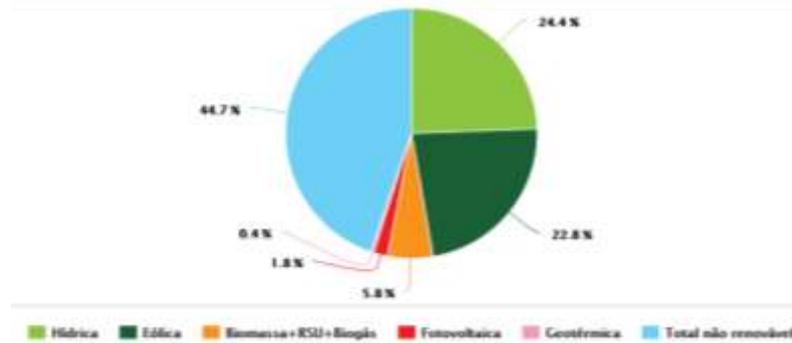
Fonte: Relatório do Estado do Ambiente Portugal 2019, Agência Portuguesa do Ambiente (APA), 2017

**Figura 3** - Evolução do PIB, das Emissões Totais de CO<sub>2</sub> e do Consumo de Energia Primária (2000 = 100)



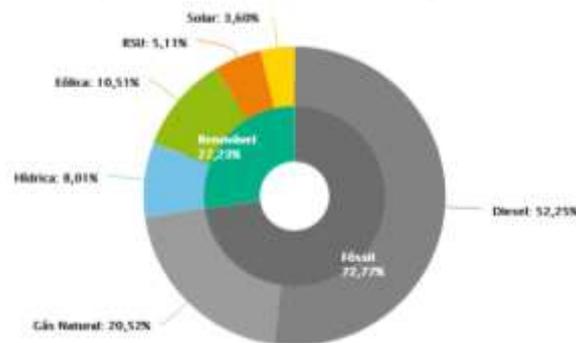
Fonte: Instituto Nacional de Estatística (INE), APA, DGEG, 2018

**Figura 4** - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal, em 2018



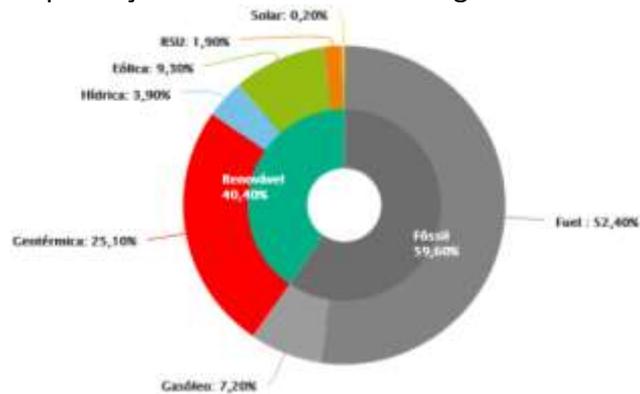
Fonte: DGEG, 2019

**Figura 5a** - Balanço da produção de eletricidade na Região Autónoma da Madeira



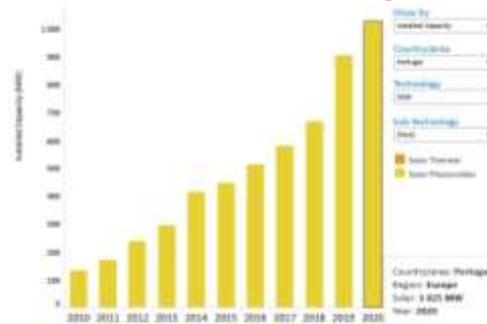
Fonte: EEM, análise APREN, Maio 2021

**Figura 5b** - Balanço da produção de eletricidade na Região Autónoma dos Açores



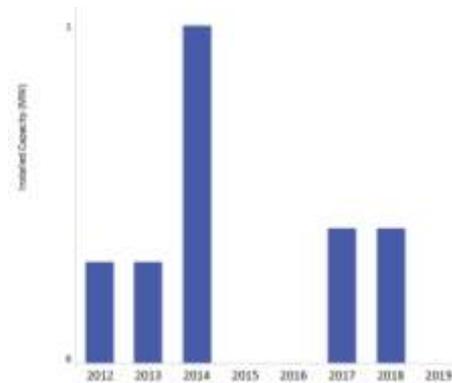
Fonte: EEM, análise APREN, Maio 2021

**Figura 6 - Tendências capacidade instalada da tecnologia solar, em Portugal**



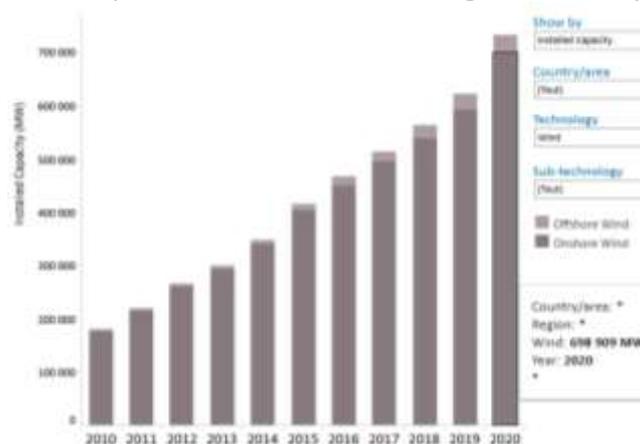
Fonte: IRENA, 2021

**Figura 7 - Tendências de capacidade instalada da energia dos oceanos em Portugal (MW)**



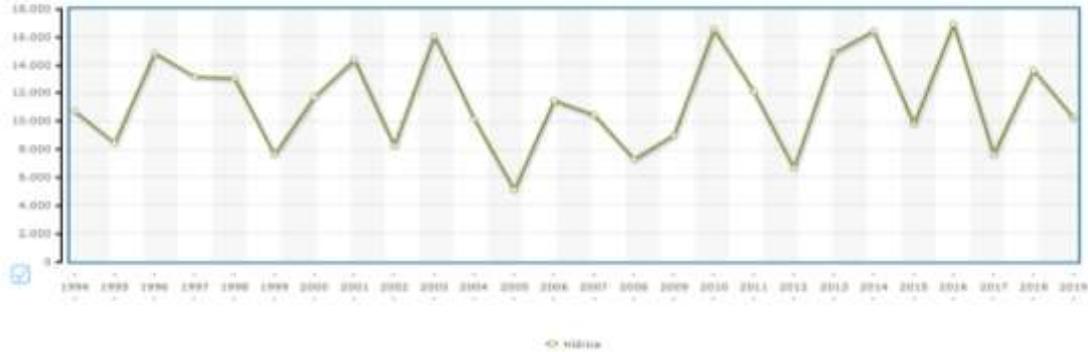
Fonte: IRENA, 2020

**Figura 8 - Tendências de capacidade instalada da energia eólica no planeta (MW)**



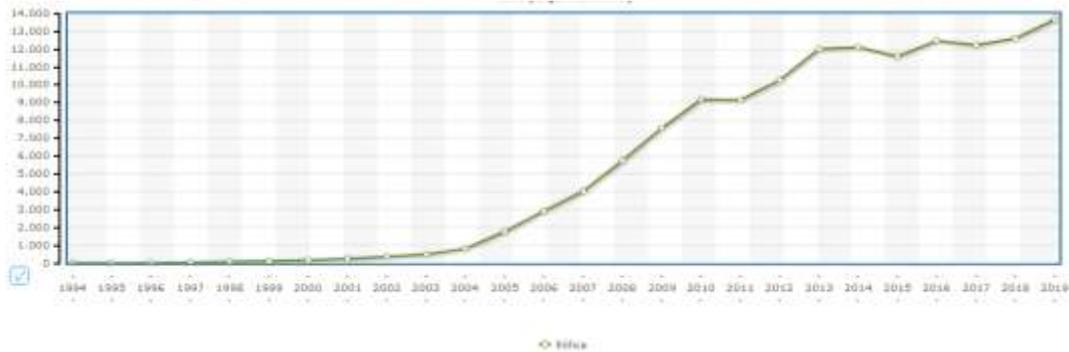
Fonte: IRENA 2021

**Figura 9** - Produção bruta de energia elétrica: total e por tipo de produção de energia elétrica, GWh (Gigawatt-hora), hídrica



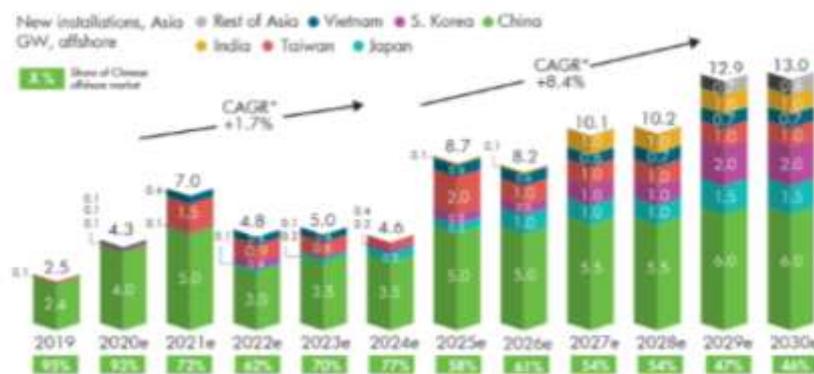
Fonte: DGEG e MAAC, PORDATA, 2020

**Figura 10** - Produção bruta de energia elétrica: total e por tipo de produção de energia elétrica, GWh (Gigawatt-hora), eólica



Fonte: DGEG e MAAC, PORDATA, 2020

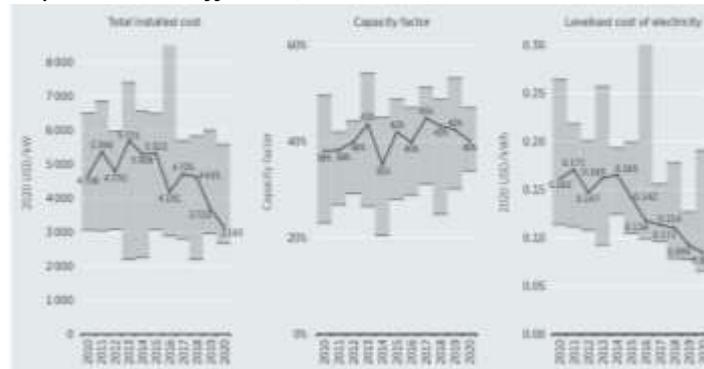
**Figura 11** - Crescimento global da eólica offshore para 2030 na Ásia



Fonte: GWEC Market Intelligence, Junho 2020

Nota: CAGR = Compound Annual Growth Rate

**Figura 12** - Média ponderada global e faixa de custos totais de instalação, fatores de capacidade e LCOE para eólica *offshore*, 2010-2020



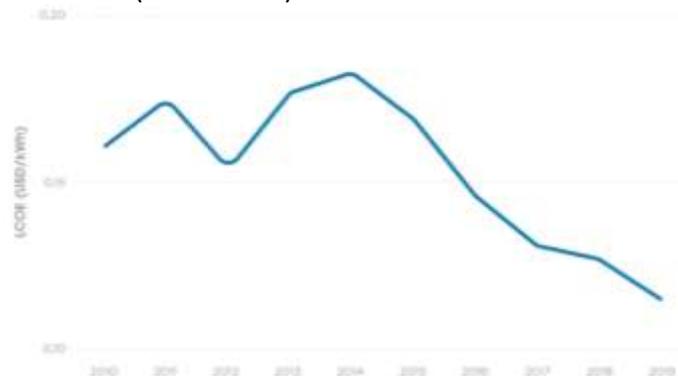
Fonte: IRENA *Renawables Cost Database*, 2020

**Figura 13** - Tamanho da turbina e tamanho médio global da turbina e capacidade do parque eólico para eólica *offshore*, 2000-2020



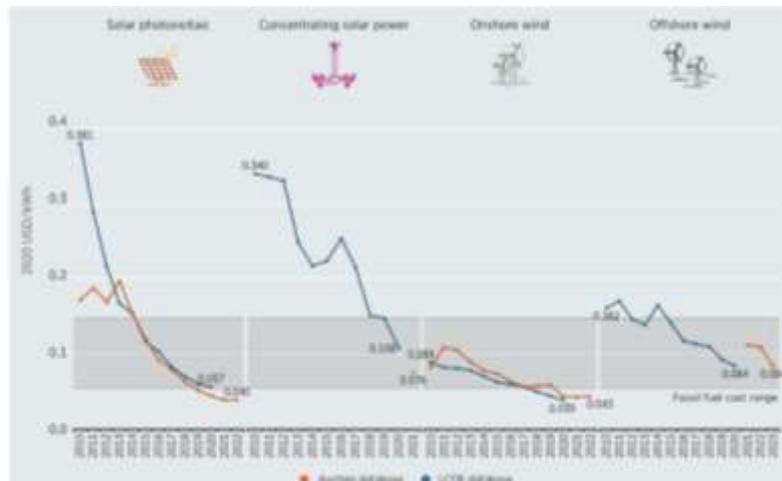
Fonte: IRENA *Renawables Cost Database*, 2020

**Figura 14** - Trajetória LCOE (2010-2019)



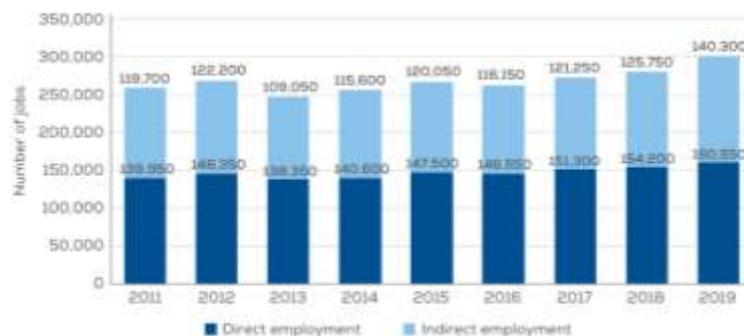
Fonte: IRENA, 2019

**Figura 15** - Média ponderada global do LCOE e *Power Purchase Agreement/auctions* para solar PV, eólica *onshore, offshore* e CSP, 2010-2023



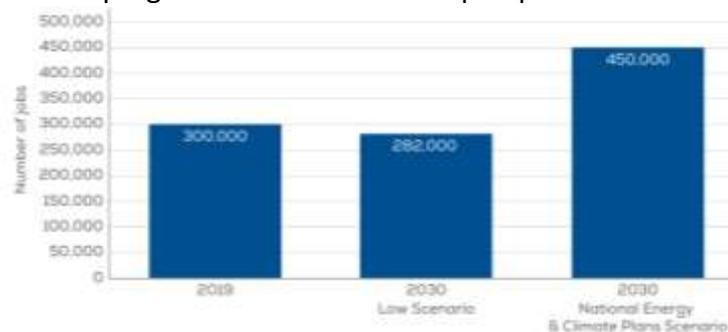
Fonte: IRENA *Renawables Cost Database*, 2020

**Figura 16** - Empregos diretos e indiretos na indústria eólica



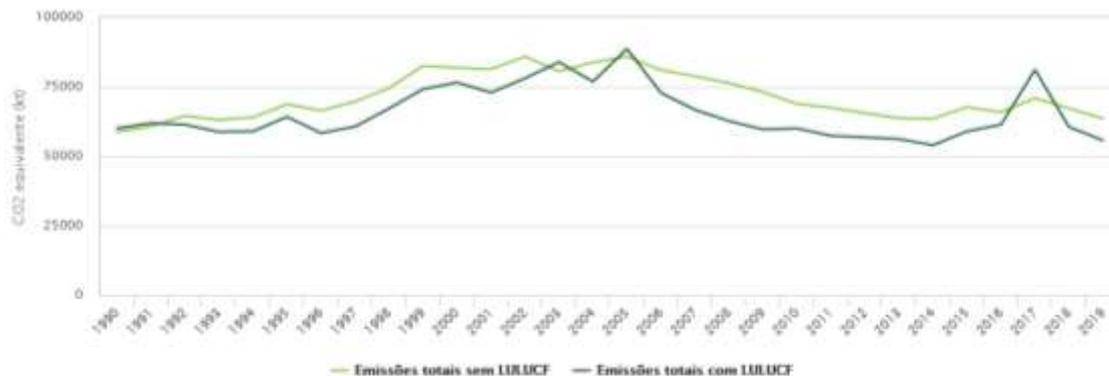
Fonte: Deloitte para WindEurope, 2020

**Figura 17** - Cenários empregos no setor eólico europeu para 2030



Fonte: Deloitte para WindEurope, 2020

**Figura 18 - Evolução das emissões nacionais de GEE**



Fonte: APA, submissão do inventário nacional realizada em março/abril de 2021 à UE e à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

**TABELA I - Produção bruta de energia elétrica: total por tipo de produção de energia elétrica (2001-2010)**

GWh (Gigawatt-hora)

Anos	Produção bruta de energia elétrica					
	Total	Eólica	Geotérmica	Hídrica	Térmica	Fotovoltaica
2001	46.509	258	100	14.375	31.772	1
2002	46.107	262	96	8.257	37.389	2
2003	48.852	438	90	18.554	30.209	3
2004	45.105	818	84	10.147	34.055	3
2005	46.575	1.773	71	5.118	39.610	3
2006	49.041	2.925	85	11.467	34.559	5
2007	47.253	4.837	291	10.449	32.542	24
2008	45.969	5.757	182	7.288	32.681	41
2009	59.267	7.577	184	9.909	33.277	160
2010	54.064	9.182	187	16.547	27.953	215

Fonte: Dados da DGEG/MAAC tirado do PORDATA, outubro 2020

**TABELA II - Produção bruta de energia elétrica: total por tipo de produção de energia elétrica (2011-2019)**

GWh (Gigawatt-hora)

Anos	Produção bruta de energia elétrica					
	Total	Eólica	Geotérmica	Hídrica	Térmica	Fotovoltaica
2011	52.465	9.162	210	12.114	30.997	282
2012	48.613	10.269	146	8.859	28.155	283
2013	(R) 51.672	(R) 12.815	187	14.888	24.113	479
2014	(R) 52.802	12.111	205	(R) 18.412	(R) 23.446	627
2015	52.424	11.600	204	9.800	(R) 30.014	799
2016	60.334	12.474	172	16.818	(R) 29.992	871
2017	(R) 59.433	12.248	217	(R) 7.932	38.344	(R) 992
2018	(R) 59.648	12.617	230	(R) 13.829	(R) 32.158	(R) 1.000
2019	53.154	13.667	215	10.243	27.887	1.342

Fonte: Dados da DGEG/MAAC tirado do PORDATA, outubro 2020

**Tabela III - Queda do LCOE em 2030 e 2045**

Year	CAPEX (USD/MW)	OPEX (USD/MW/yr)	Net capacity factor (%)	LCOE (USD/MWh)
2015	4 800 000	135 000	46%	170
2030	3 750 000	75 000	50%	95
2045	3 400 000	55 000	52%	74

source: IRENA, 2016

**Tabela IV - Impacto tecnológico das turbinas, 2001-2015**

CAPEX	OPEX	AEP	LCOE
-6.1%	-28%	18%	-20%

Fonte: IRENA, 2016

**Tabela V - Média ponderada do LCOE por região e por país para a eólica offshore, 2010 e 2020**

	2010			2020		
	5 <sup>th</sup> percentile	Weighted average	95 <sup>th</sup> percentile	5 <sup>th</sup> percentile	Weighted average	95 <sup>th</sup> percentile
(2020 USD/kW)						
<b>Asia</b>	0.123	<b>0.181</b>	0.213	0.080	<b>0.085</b>	0.118
China	0.121	<b>0.178</b>	0.195	0.080	<b>0.084</b>	0.097
Japan*	0.215	<b>0.215</b>	0.215	0.200	<b>0.200</b>	0.200
Republic of Korea	n.a.	<b>n.a.</b>	n.a.	0.122	<b>0.122</b>	0.122
<b>Europe</b>	0.124	<b>0.158</b>	0.288	0.066	<b>0.083</b>	0.131
Belgium	0.198	<b>0.198</b>	0.198	0.085	<b>0.087</b>	0.090
Denmark*	0.110	<b>0.110</b>	0.110	0.088	<b>0.088</b>	0.088
Germany	0.164	<b>0.166</b>	0.171	0.088	<b>0.093</b>	0.095
Netherlands	n.a.	<b>n.a.</b>	n.a.	0.066	<b>0.067</b>	0.131
United Kingdom	0.151	<b>0.162</b>	0.170	0.115	<b>0.115</b>	0.115

Fonte: IRENA *Renawables Cost Database*, 2020

Nota: dados países para projetos comissionados em 2019

**Tabela VI a - Evolução de emissões nacionais de GEE nas diferentes trajetórias baixo carbono consideradas (% face a 1990)**

Trajetoórias	2020	2030	2040	2050
Sem restrições	12%   20%	-6%   17%	-20%   19%	-27%   22%
Restrições 60% (sobre o sistema energético)	12%   20%	-6%   -2%	-28%   -23%	-52%   -48%
Restrições 70% (sobre o sistema energético)	12%   20%	-6%   -2%	-32%   -27%	-60%   -56%

Valores cenário Baixo | cenário Alto

Fonte: Roteiro Nacional Baixo Carbono 2050, 2020

**Tabela VI b** - Evolução de emissões nacionais de GEE per capita (tCO<sub>2</sub>eq./per capita) nas trajetórias baixo carbono analisadas (% face a 1990)

Trajatórias	2005	2020	2030	2040	2050
Sem restrições	8,1	6,316,5	5,416,2	4,716,0	4,516,2
Restrições 60% (sobre o sistema energético)	8,1	6,316,5	5,415,2	4,313,9	3,012,6
Restrições 70% (sobre o sistema energético)	8,1	6,316,5	5,415,2	4,013,7	2,512,2

Valores cenário Baixo | cenário Alto

Fonte: Roteiro Nacional Baixo Carbono 2050, 2020