

U. PORTO

FEP FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Impacto das energias renováveis no crescimento económico

Luís Miguel Dias Miranda

Dissertação

Mestrado em Economia

Orientado por
Sofia Teives Henriques

2023

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi deveras um desafio e uma conquista pessoal muito importante para mim. Neste sentido gostaria de expressar a minha gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho académico.

Primeiramente quero agradecer à minha orientadora, a Professora Sofia Henriques pelo seu apoio e dedicação. De facto, este trabalho não seria possível sem o seu apoio. Gostaria ainda de agradecer ao Professor Vítor Ribeiro pelas suas sugestões ao nível econométrico.

Agradeço aos meus pais e irmãos pelo apoio constante e sacrifícios que fizeram ao longo de toda a minha jornada académica e pessoal. Vocês são a minha fonte de inspiração e força, e este trabalho é dedicado a vocês.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante todo este processo, quero expressar a minha profunda gratidão, foram essenciais para a realização deste trabalho. O vosso apoio constante e o convívio fizeram tudo valer a pena.

Este trabalho não é apenas meu, mas de todos que me ajudaram a chegar até aqui.

Resumo

Nos últimos anos o fenómeno das alterações climáticas e as suas consequências têm levado os países a nível mundial a repensarem as suas políticas energéticas. Neste sentido a União Europeia através dos seus estados-membros têm investido fortemente em energias renováveis por forma a combater este problema. A literatura sobre este tema e em particular sobre as energias renováveis indica que estas transições energéticas para economias mais verdes têm custos económicos elevados e que não beneficia todos os países. Para o caso da União Europeia e de forma geral o impacto das energias renováveis é positivo no crescimento económico. Este trabalho foca nos 27 estados-membros da União Europeia, para o período de 2000-2021 e estima uma regressão econométrica onde se analisa o impacto do aumento de uma unidade no consumo de energias renováveis no crescimento económico. Os métodos dynamic ordinary least squares (DOLS) e full modified ordinary least squares (FMOLS) são aplicados para estimar os resultados. Os resultados estimados indicam que um aumento de 1% no consumo de energias renováveis provoca um efeito de 0,04% no produto interno bruto, valor bastante inferior em comparação com literatura sobre o tema. Já o incremento de 1% do consumo de energias não renováveis tem um impacto de 0,28% no PIB. Numa análise a cada país verifica-se que da amostra de países em estudo, para 18 a relação é positiva entre renováveis e crescimento económico e para 9 países é negativa. Uma vez que a União Europeia pretende ser neutra em emissões de carbono em 2050, os países com relação negativa vão ter de continuar a investir em energias renováveis, mesmo que não contribua positivamente para o produto interno bruto. Pode-se referir que a hipótese de crescimento é válida para a amostra em estudo, isto é, as energias renováveis contribuem positivamente ou negativamente para o crescimento económico.

Códigos JEL: F43, O50, Q20, Q30, Q43.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Energias não-renováveis, crescimento económico.

Abstract

In recent years, the phenomenon of climate change and its consequences have led countries around the world to rethink their energy policies. To this end, the European Union and its member states have invested heavily in renewable energies in order to combat this problem. The literature on this subject, and in particular on renewable energies, indicates that these energy transitions towards greener economies have high economic costs and do not benefit all countries. In the case of the European Union and in general, the impact of renewable energies is positive on economic growth. This work focuses on the 27 member states of the European Union for the period 2000-2021 and estimates an econometric regression that analyses the impact of a one-unit increase in renewable energy consumption on economic growth. The dynamic ordinary least squares (DOLS) and full modified ordinary least squares (FMOLS) methods are applied to estimate the results. The estimated results indicate that a 1% increase in renewable energy consumption causes a 0.04% increase in gross domestic product, a much lower statistic compared to the literature on the subject. The impact of 1% increase in non-renewable energies has an effect of 0.28 per cent on GDP. An analysis of each country shows that of the sample of countries under study, for 18 the relationship between renewables and economic growth is positive and for 9 countries it is negative. Since the European Union aims to be carbon neutral by 2050, countries with a negative relationship will have to continue investing in renewable energies, even if it doesn't contribute positively to gross domestic product. It can be said that the growth hypothesis is valid for the sample under study, i.e., renewable energies contribute positively or negatively to economic growth.

JEL codes: F43, O50, Q20, Q30, Q43.

Key words: Renewable energy, non-renewable energy, economic growth

Índice

1. Introdução	1
2. Revisão de literatura	3
2.1. Objetivos para as energias renováveis na União Europeia	8
2.2. Crescimento Verde	11
2.3. Investimento e Taxas ambientais.....	14
2.4. Consequências da falta de investimento em energias renováveis	17
3. Metodologia.....	19
3.1. Dados.....	19
3.2. Estimação de resultados.....	21
4. Discussão de resultados	29
5. Conclusões.....	33
6. Referências.....	35

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quadro resumo de literatura sobre o tema	4
Tabela 2 - Metas para o consumo de energia renovável na UE	9
Tabela 3 - Energia Renovável produzida por cada estado-membro em %.....	9
Tabela 4 - Estatísticas descritivas	21
Tabela 5 - Matriz das Correlações.....	22
Tabela 6 - Teste de VIF.....	22
Tabela 7 - Teste de raiz unitária.....	24
Tabela 8 - Teste de raízes unitárias com as primeiras diferenças	26
Tabela 9 - Teste Dumitrescu-Hurlin para a causalidade	27
Tabela 10 - Teste de cointegração de painel de Westerlund	28
Tabela 11 - Elasticidades de longo prazo para dados em painel	29
Tabela 12 - Elasticidades de longo de prazo a partir do modelo FMOLS.....	31

Índice de Figuras

Gráfico 1 – Comparação entre as emissões de CO ₂ e os valores do PIB	14
Gráfico 2 - Receitas ambientais por tipo e total em % do PIB e TSC	16
Gráfico 3 - Receitas ambientais por tipo e país em % PIB	17

Lista de Siglas

APREN – Agência Portuguesa de Energias Renováveis

ARDL – Autorregressivo de Desfasamento Distribuído

CF – Combustíveis fósseis

CO₂ – Dióxido de carbono

DOLS – Dynamic ordinary least squares

EEA – Agência Europeia do Ambiente

EUA – Estados Unidos da América

FiT – Feed in tariff

FMI – Fundo Monetário Internacional

FMOOLS – Full modified ordinary least squares

PIB – Produto interno bruto

PIBpc – Produto interno bruto per capita

GFCE – Formação bruta de capital fixo

I&D – Investigação e desenvolvimento

IEA – Agência internacional de energia

IRENA – Agência Internacional para as Energias Renováveis

Ktep – Kilo toneladas equivalentes de petróleo

KWh – Kilowatt hora

LF – Força de trabalho

NREC – Consumo de energias fósseis

OCDE – Organização para a cooperação e desenvolvimento económico

OLS – Ordinary least squares

PPC – Paridade dos poderes de compra

RE – Energia Renovável

REC – Consumo de energias renováveis

RECAI - Índice de Atratividade dos países em Energia Renovável

TE – Total de eletricidade

TSC – Contribuições sociais totais

UE – União Europeia

VIF – Variance inflation factor

1. Introdução

O tema da energia é um assunto complexo e de importância vital para a economia de um país. Neste sentido, nos últimos anos tem-se abordado a questão da dependência deste setor de combustíveis fósseis e os seus efeitos nas alterações climáticas. Em causa, o contínuo uso de petróleo, carvão e gás natural como principais motores das economias mundiais. A preocupação ambiental relativa às emissões de carbono veio questionar o contínuo uso deste tipo de energias poluentes. Neste enquadramento a União Europeia (UE) têm promovido a transição energética para energias verdes e liderado em termos de capacidade instalada em algumas destas tecnologias, caso da eólica offshore. Com o apoio da comissão europeia os diversos governos europeus pertencentes à UE têm investido centenas de milhares de milhões de euros em energias renováveis ao longo dos últimos anos, por forma a transitar para energias verdes. De acordo com International Renewable Energy Agency e Climate Policy Initiative (2023, p.56) em 2019 foram investidos na europa 54 mil milhões de dólares, em 2020 67 mil milhões de dólares e segundo dados preliminares sugerem 77 mil milhões de dólares em 2021.

Recentemente, a invasão da Ucrânia pela Rússia e a forte dependência energética do continente europeu face a este país evidenciou a relevância deste setor estratégico e a sua vulnerabilidade. Neste contexto a União Europeia (UE) lançou diversas iniciativas para combater estes problemas, caso do *Green Deal* e o *Repower EU*. Este último surge na sequência da guerra na Ucrânia e aponta como metas a descarbonização total da economia europeia em 2050, a diversificação das fontes de energia e a forte aposta em energias renováveis.

Noutra perspetiva está a questão das emissões de dióxido de carbono (CO₂), onde o relatório das emissões de CO₂ das nações unidas, publicado em 2023 apresenta uma realidade negativa neste contexto. Segundo este relatório, nos próximos 8 anos o número de emissões de gases de efeito de estufa deve diminuir em cerca de 30% a 45%, por forma a garantir as metas definidas de limitar o aquecimento global em 2 graus celsius ou preferencialmente 1,5 graus celsius respetivamente, no pressuposto de que todas as medidas ambientais assinadas pelos governos sejam implementadas na sua totalidade. O relatório expressa a preocupação de que a janela de oportunidade para reduzir o aquecimento global em 2 graus celsius ou preferencialmente 1,5 graus celsius está a diminuir rapidamente, pelo que é necessário intervir agora para evitar catástrofes ambientais no futuro (United Nations Environment Programme, 2022).

O diretor da IEA, Fatih Birol, escreveu um artigo em 2022, onde descreve a importância da segurança energética dos países, bem como a transição energética para energias verdes ou não emissoras de gases poluentes. O objetivo final é garantir as metas climáticas de limitar o aquecimento global em 2 graus ou idealmente 1,5 graus celsius Birol (2022). O autor refere que este é o momento certo para alterar as políticas energéticas, pois a guerra na Ucrânia evidenciou a grande dependência energética da Europa face à Rússia. No artigo é referido que os montantes de investimento em energias renováveis não têm sido suficientes para atingir as metas climáticas conforme o acordo de Paris. Os montantes investidos em renováveis situam-se nos 1,4 trilhões de dólares quando deveriam ser 4 trilhões por forma a alcançar as metas acima referidas. É de notar que grande parte deste investimento reside nas economias avançadas e na China. Já os países emergentes continuam com os mesmos montantes de investimento antes da assinatura do acordo de Paris (Birol, 2022).

As energias renováveis registam uma tendência de crescimento positiva ao nível mundial, e estima-se que cresceram em média 2% ao ano, entre 2015 e 2020, no entanto em 2021 cresceram 12%, com particular destaque para a energia eólica offshore (Birol, 2022). A Agência Internacional de Energia (em inglês, *International Energy Agency*, IEA) publicou em 2022 um relatório onde apresenta uma projeção do crescimento da produção de eletricidade a nível mundial com origem renovável, de 28% em 2021 para 43% em 2030 (International Energy Agency, 2022, p. 238). No caso europeu, a Comissão Europeia tem como objetivo atingir 45% no consumo de eletricidade proveniente de energias renováveis em 2030 (European Commission, 2022a). Em termos de investimento, a aposta nas energias renováveis resulta de apoios governamentais, ou seja, subsídios, créditos fiscais, entre outros (Bhattacharya et al., 2016).

Este trabalho pretende avaliar a relação entre produção de energia renovável e o seu impacto no crescimento económico para a União Europeia, entre os anos de 2000 a 2021 e responder se é possível conciliar o uso de renováveis com crescimento económico. O objetivo deste estudo é responder a ambas as questões. Na secção 2 aborda-se a literatura sobre o tema, as políticas e metas (diretivas) dos vários países da União Europeia, o crescimento verde, os tipos de investimento em energia e os impactos futuros no não investimento em energias renováveis. A secção 3 apresenta os dados e a metodologia. A secção 4 apresenta os resultados. A secção 5 expõe as conclusões do trabalho.

2. Revisão de literatura

A literatura sobre este tema estuda o impacto das energias renováveis no curto e longo prazo no crescimento económico. O foco destes estudos tem predominado no consumo de energia renovável e no crescimento económico em vez da relação entre produção de energia e crescimento económico. A partir dos choques petrolíferos da década de 1970 começou a surgir literatura sobre este tema, onde Kraft & Kraft (1974) foram pioneiros nesta temática ao abordar a relação entre energia e o produto nacional bruto.

A literatura sobre o consumo de energia renovável e crescimento económico não é consensual e indica que a aposta nas energias renováveis não favorece todos os países, conforme vai ser analisado de seguida. Um exemplo é o caso do Canadá, este país é exportador de petróleo e gás natural, onde 91 % destes produtos têm como destino os EUA. Este país, segundo Shahbaz et al. (2020) regista um impacto negativo de 2,408% do consumo de energias renováveis no crescimento económico, ou seja, o consumo de energias renováveis não gera crescimento económico ao contrário dos combustíveis fósseis que contribuem ativamente para a economia.

O artigo de Shahbaz et al. (2020), bem como a restante literatura sobre esta temática indica quatro hipóteses para a relação entre as energias renováveis e o crescimento económico. A primeira é a “Hipótese de crescimento” onde o consumo de energia renovável gera crescimento económico. Se existir uma redução no consumo de energia renovável, os efeitos na economia seriam negativos. A segunda é a “Hipótese de conservação” que indica que o crescimento económico é o responsável pelo consumo de energia renovável. Por outras palavras é uma relação unidirecional onde o consumo de energia não tem efeitos no crescimento económico. A terceira é a “Hipótese de *feedback*” que estabelece uma relação bidirecional entre consumo de energia renovável e crescimento económico. Um aumento do consumo de energia renovável irá fomentar o crescimento económico e vice-versa. Isto é ambos são definidos em conjunto. A última é a “Hipótese da neutralidade” onde o consumo de energia renovável e crescimento económico não apresentam qualquer relação de causa e efeito. É com base nestas premissas que se têm desenvolvido muitos dos estudos nesta área. Abaixo encontra-se uma tabela síntese (tabela 1) com alguns artigos da literatura sobre o tema e as principais conclusões.

Tabela 1 - Quadro resumo de literatura sobre o tema

Autores	Período	Países	Metodologia	Resultados
Bhattacharya et. al (2016)	1991-2012	38 países do Índice de Atratividade dos países em Energia Renovável (RECAI)	Dados em painel com recurso aos modelos <i>ordinary least squares</i> (OLS) e <i>Full modified OLS</i> (FMOLS)	A relação entre o consumo de energias renováveis e crescimento económico nem sempre é positiva. Conclui-se que para a generalidade da amostra a relação é positiva (23), para 11 a relação não é significativa e para 4 a relação é negativa.
Apergis & Payne (2010)	1985-2005	20 países da organização e cooperação de desenvolvimento económico (OCDE)	Dados em painel com efeitos fixos, FMOLS para <i>heterogeneous cointegrated panels</i> e testes de causalidade de Granger para curto e longo prazo.	Equilíbrio de longo prazo entre as principais variáveis (PIB real, consumo de energias renováveis, formação bruta de capital fixo e força de trabalho). O aumento de 1% no consumo de energia renovável aumenta o PIB real em 0,76%.
Shahbaz et al. (2020)	1990-2018	38 países do Índice de Atratividade dos países em Energia Renovável (RECAI)	<i>Cross-sectional dependence, Pedroni cointegration, heterogenous panel causality</i> e ambos os <i>Dynamic ordinary least squares</i> (DOLS) e FMOLS	Equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Para 22 países, o consumo de energia renovável gera crescimento económico. Para 7 países esta relação é negativa e para 9 é indiferente.
Inglesi-Lotz (2016)	1990-2010	Países da OCDE	Dados em painel com efeitos fixos, FMOLS para <i>heterogeneous cointegrated panels</i> e testes de causalidade de Granger para curto e longo prazo e uma função de produção Cobb Douglas.	Existe uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. O aumento de 1% no consumo de energias renováveis irá aumentar o PIB real em 0,11% e o PIB per capita em 0,10%. O incremento de 1% na quota de energias renováveis para o mix energético dos países irá aumentar o PIB real em 0,01% e o PIB per capita em 0,09%.

Autores	Período	Países	Metodologia	Resultados
Alper & Oguz (2016)	1990-2009	Bulgária, Chipre, Eslovénia, Eslováquia, Estónia, Hungria, Polónia e República Checa.	ARDL (Autorregressivo de Desfasamento Distribuído) e teste de causalidade assimétrica	As energias renováveis têm um impacto positivo no crescimento económico para todos os países. Para Bulgária, Estónia, Polónia e Eslovénia o impacto é mais significativo face aos restantes. Não há relação de causalidade para Chipre, Estónia, Hungria, Polónia e Eslovénia e para a República Checa a hipótese de conservação é a que se aplica.
Menegaki, (2011)	1997-2007	União Europeia 27	Dados em painel: modelo de efeitos variáveis	Aumento de 1% nas Energias Renováveis impulsiona um aumento de 4,4% no PIB per capita em PPC. Aumento de 1% na emissão de gases de efeito de estufa induz um aumento em 6% do PIB per capita. Aumento de 1% no emprego tem como consequência um impacto de 4,9% no PIB per capita
Ntanos et al. (2018)	2007-2016	25 países europeus	Modelo ARDL	Os autores dividiram os países em dois grupos: países com maior PIB per capita e consumo de energias renováveis per capita (cluster 1) e países com menor PIB e consumo de energias renováveis (cluster 2). Concluíram que para o cluster 1 se RES (renováveis) aumentar 1% <i>ceteris paribus</i> , o PIB irá aumentar em 0,603%. Para o cluster 2, se RES aumentar 1% <i>ceteris paribus</i> , o PIB irá aumentar 0,477%.
Marques & Fuinhas (2012)	1990-2007	24 países europeus	Dados em painel	Os autores concluem que o aumento da contribuição de energias renováveis em 1%, vai provocar um decréscimo do crescimento económico em 3%, mantendo tudo o resto constante, <i>ceteris paribus</i> .

Fonte: Elaboração própria

O artigo de Bhattacharya et al. (2016) conduz um estudo para 38 países no qual se analisa o impacto do consumo das energias renováveis no crescimento económico para o período de 1991-2012 e onde se conclui que o investimento neste tipo de energias nem sempre é positivo. Dos países em análise, em 23, a relação entre as renováveis e o impacto na economia é positiva, para 5 países é negativa e para 11 países não se conclui um impacto significativo. Para os países com impacto negativo, os autores concluem que é muito provável a continuação do uso de combustíveis fósseis pois estes contribuem para o crescimento económico. Apergis and Payne (2010) também estudam o mesmo problema, mas para um universo mais pequeno, analisando 20 países. Os autores constataram que existe um equilíbrio de longo prazo entre as principais variáveis (PIB real, consumo de energias renováveis, formação bruta de capital fixo e força de trabalho), o que permite concluir que um aumento de 1 por cento no consumo de energias renováveis leva a um aumento de 0,76 por cento no PIB real. Perante este resultado, os autores consideram que os subsídios governamentais e os créditos fiscais para o investimento em energias renováveis, foram essenciais para a diversificação das fontes de energia, bem como para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de carbono.

O artigo de Shahbaz et al. (2020) reproduz o estudo de Bhattacharya et al. (2016) onde analisa 37 países dos 38 em estudo de Bhattacharya et al. para o período de 1990-2018. O objetivo é verificar se os países estão a encorajar “o consumo de energias renováveis através do aumento de capital” (Shahbaz et al., 2020, p.3). Os resultados obtidos indicam que a relação entre consumo de energia renovável e crescimento económico é positiva para 22 países, para 9 é negativa e para 7 é indiferente. A diferença entre os dois artigos reside assim nos números de países em que a relação entre energia renovável e crescimento económico é positiva, negativa e neutra. Para o artigo de Shahbaz et al (2020) o número de países onde a relação é positiva é menor que o referido no artigo de Bhattacharya et al. (2016), 22 e 23 respetivamente. Em termos negativos o artigo de Shahbaz et al (2020) menciona um número maior 7 face a 5 do artigo comparado e por último, um menor número de países onde a relação é ambígua para o primeiro face ao segundo, 9 e 11 respetivamente. Uma possível explicação para esta diferença é os períodos em estudo, considerando que o artigo de Shahbaz et al. (2020) tem uma análise mais alargada e recente que o de Bhattacharya et al. (2016).

Inglesi-Lotz (2016) demonstra uma relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis e

tem como resultado, o crescimento de 1% do consumo de energias renováveis aumenta o PIB em 0,105% e o PIB per capita em 0,1%. Enquanto um aumento de 1% das energias renováveis na composição energética dos países irá aumentar o PIB em 0,089% e o PIB per capita em 0,090%. Menegaki, (2011) estuda o impacto das energias renováveis no PIB per capita para os países membros da UE, para o período de 1997-2007. O autor conclui que tanto as energias renováveis como as emissões de CO₂ têm efeitos positivos sobre o PIB, no entanto as emissões de CO₂ têm um impacto superior, 6%, em relação às energias renováveis, 4,4%. Uma possível explicação para este fenómeno é o facto de as economias ocidentais e neste caso as economias europeias terem uma economia assente no consumo de energias fósseis, como o petróleo e o gás natural. Portanto um aumento da atividade industrial vai provocar um aumento do consumo destes combustíveis que por sua vez vai levar ao aumento das emissões de CO₂. Outra explicação para o baixo impacto das energias renováveis em relação às emissões de carbono reside no estado inicial de formação e de entrada no mercado por parte destas energias, ou seja, as energias renováveis necessitam de largos investimentos por forma a combater a falta de competitividade da mesma e tornar as energias renováveis mais eficientes. Face a um menor impacto das energias renováveis sob o crescimento económico, o autor conclui que a hipótese da neutralidade se aplica na União Europeia. A autora propõe que a UE reduza “a sua intensidade energética, aumente a eficiência energética e a liberalização dos mercados domésticos, desenvolva novas energias renováveis e contorne as várias barreiras para a implementação estrutural de energias renováveis” (Menegaki, 2011, p. 262). Seguindo a mesma linha de pensamento do artigo de Menegaki (2011), o artigo de Marques & Fuinhas (2012) conclui que em termos económicos as energias renováveis não são tão benéficas para a economia quando comparadas com os combustíveis fósseis. É importante ressaltar que em termos ambientais, os autores concordam que se deve abandonar os combustíveis fósseis e efetuar uma transição para energias verdes. O problema evidenciado no artigo incide no elevado custo de implementação destas energias (eólica, solar, hidroelétrica, entre outras) face aos combustíveis fósseis. Estes custos irão ser refletidos nas faturas pagas pelos consumidores finais e empresas, prejudicando assim as empresas europeias que pagam mais pelo preço de kilowatt hora (kWh) de eletricidade que as suas concorrentes noutros países. A sugestão deixada pelos autores é o direcionamento das políticas públicas da capacidade de geração de energia renovável para um maior investimento em investigação e desenvolvimento (I&D). O investimento em I&D fortalecerá o *cluster* europeu em energias renováveis para além de criar emprego e riqueza por via da

patenteação de tecnologias e exportação das mesmas. O artigo refere o caso da China, onde o elevado crescimento económico tem proporcionado um maior investimento em energias renováveis, sendo o maior investidor a nível mundial. Dado o caso da China, Marques & Fuinhas (2012) sugerem que a Europa siga o exemplo desta, investir em energias renováveis durante períodos de elevado crescimento económico, uma vez que em períodos de crise ou de fraco crescimento económico é mais vantajoso investir em tecnologias já disponíveis no mercado, tais como o petróleo e o gás natural. Portanto de acordo com estes autores, o investimento em energias renováveis acaba por ser uma decisão política e não económica.

2.1. Objetivos para as energias renováveis na União Europeia

Na sequência do protocolo de Quioto assinado em 1997, a preocupação ambiental passou a ser um tema com prioridade na União Europeia. No seguimento deste acordo Ambiental, os vários órgãos da União Europeia, a começar pelo Parlamento Europeu, foram apresentando propostas para se definir quotas para energias renováveis nos diversos setores da UE. A 27 de setembro de 2001 é publicada a primeira diretiva sobre “a promoção da eletricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno de eletricidade” (European Parliament & European Council, 2001). As metas definidas eram 12% de consumo de energia com origem renovável até 2010 para a toda a UE e 22,1% de eletricidade produzida a partir de fontes de energia renovável no consumo total de eletricidade da comunidade europeia até 2010. A diretiva 2009/28/CE definiu o objetivo de se atingir 20% do consumo energético da comunidade europeia proveniente de energias renováveis até 2020 (European Parliament & European Council, 2009). Mais recentemente a diretiva 2018/2001 e a proposta de diretiva de alteração à mesma divulgada em 2021 definiram o consumo de energia com origem renovável, para 2030, no montante de 32% e 40% respetivamente. O *Repower EU* publicado em 2022 definiu a meta de consumo de energia com origem renovável para o ano de 2030 em 45% (Ciucci, 2022; European Parliament & European Council, 2018).

A Comissão Europeia estipulou como objetivos para 2030 a meta de 45% de incorporação de energias renováveis na produção de eletricidade, bem como a redução de 55% das emissões de carbono face a 1990. Para o ano de 2050 a Comissão Europeia pretende alcançar a neutralidade carbónica. É de destacar as propostas ambiciosas da Comissão Europeia dado que em 2010 apenas 21,3% da eletricidade da UE provinha de fontes renováveis. Na tabela abaixo, tabela 2, encontram-se as metas da UE das energias renováveis para o *mix* de consumo final bruto de energia e os valores registados para cada um dos anos em estudo.

Tabela 2 - Metas para o consumo de energia renovável na UE

Ano	2010	2020	2030	2050
Objetivo	12%	20%	45%	100%
Registado	14%	22%	-	-

Fonte: European Commission (n.d.b)

Os estados-membros da UE definem as suas metas anuais por forma a atingir as metas europeias. As realidades entre estados-membros são muitos disparees como se pode observar na tabela 3, onde a Suécia regista 71,2% de produção de eletricidade via energias renováveis em comparação com 8% de Malta em 2019.

Tabela 3 - Energia Renovável produzida por cada estado-membro em %

Países	2005	2010	2019	Países	2005	2010	2019
Alemanha	10,6	18,2	40,8	Grécia	8,2	12,3	31,3
Áustria	62,9	66,4	75,1	Hungria	4,4	7,1	10
Bélgica	2,4	7,2	20,8	Irlanda	7,2	15,6	36,5
Bulgária	8,7	12,4	23,5	Itália	16,3	20,1	35
Chéquia	3,8	7,5	14	Letónia	43	42,1	53,4
Chipre	0	1,4	9,8	Lituânia	3,8	7,4	18,8
Croácia	35,2	37,5	49,8	Luxemburgo	3,2	3,8	10,9
Dinamarca	24,6	32,7	65,4	Malta	0	0	8
Eslováquia	15,7	17,8	21,9	Países Baixos	6,3	9,6	18,2
Eslovénia	28,7	32,2	32,6	Polónia	2,7	6,6	14,4
Espanha	19,1	29,8	36,9	Portugal	27,7	40,6	53,8
Estónia	1,1	10,3	22	Romênia	28,8	30,4	41,7
Finlândia	26,9	27,7	38,1	Suécia	50,9	55,8	71,2
França	13,7	14,8	22,4	União Europeia	16,2	21,3	34,1

Fonte: European Commission (2021)

Face aos dados da tabela 3 e no seguimento dos objetivos da comissão europeia, os países europeus devem analisar quais as melhores tecnologias que se adequam ao seu território e

que potenciam o seu crescimento. Um exemplo evidente é a energia solar, onde os países do sul da Europa apresentam uma maior exposição a este recurso que os do norte da Europa. Assim este recurso deve ser explorado ao máximo pelos países dessa região.

Por exemplo, observando o caso da Suécia, o sucesso do mesmo na adoção de energias renováveis deve-se aos abundantes recursos hídricos presentes no país e ao uso de biomassa, no entanto outros tipos de energias renováveis como a energia eólica e solar estão a ser implementados no país (Swedish Institute, 2022). No caso de Portugal, este é um dos países europeus com maior incorporação de renováveis, e registou segundo a APREN (Agência Portuguesa de Energias Renováveis) em 2022, 56,9% de produção de eletricidade com origem renovável (APREN, n.d.). Numa análise às principais fontes de energia renovável, encontram-se a energia hídrica e a eólica e não a energia solar. Apesar da exposição solar que o país detém, este tipo de energia não é o mais relevante para o mesmo, no entanto nos últimos anos tem-se revertido esta tendência e têm sido efetuados grandes investimentos após décadas de subinvestimento.

Green Deal

A Comissão Europeia apresentou o Pacto Ecológico Europeu, em inglês *Green Deal*, a 11 de dezembro de 2019. Este pacto visa a implementação de medidas de combate às alterações climáticas e transformar a economia da UE, numa economia moderna, eficiente e competitiva. Os três pontos chave deste acordo são: a emissão zero de gases de efeito de estufa em 2050, “o crescimento económico fica dissociado da utilização de recursos” e “ninguém nem nenhuma região é deixado para trás” (European Commission, n.d.a). Um dos objetivos de curto prazo é a redução das emissões líquidas de gases de efeito de estufa em 55% até 2030. O financiamento do Pacto Ecológico Europeu provém do plano de recuperação *Next Generation EU*, onde um terço de 1,8 biliões de euros é aplicado nesta vertente, e também do orçamento da UE (European Commission, n.d.a).

Repower EU

O *Repower EU* foi lançado em 2022 como resposta à alta dependência europeia de combustíveis fósseis russos. Até ao início da guerra na Ucrânia os países europeus dispunham em abundância e a preços competitivos, gás natural e petróleo russos, com o iniciar da guerra a Europa como um todo decidiu reduzir as compras de gás natural e petróleo russo e adquirir no mercado internacional estes mesmos produtos. Neste contexto surge o *Repower EU* com três objetivos prioritários: i) poupança energética; ii) produção de energia limpa; e iii)

diversificação das fontes de energia. A concretização dos três objetivos permitirá uma maior segurança e solidez no sistema energético europeu. Um dos objetivos acima referidos passa pelo aumento da capacidade instalada nas energias renováveis, 45% da produção de eletricidade em 2030 provenientes destas fontes. Para a concretização deste e dos restantes objetivos, a UE vai investir 210 mil milhões de euros até 2027. Caso estes valores não sejam suficientes os estados-membros podem ainda contrair empréstimos junto do Mecanismo de Recuperação e Resiliência (MRR) (European Commission, 2022b).

2.2. Crescimento Verde

O conceito de crescimento verde ou *green growth*, em inglês, expõe a teoria de que é possível ter uma economia a crescer através e apenas de energias verdes e assim prevenir ou mitigar os efeitos das alterações climáticas (Hickel & Kallis, 2020). A OCDE tem como definição “promover o crescimento económico e o desenvolvimento, assegurando ao mesmo tempo que os recursos naturais continuam a fornecer os recursos e serviços ambientais dos quais depende o nosso bem-estar” (OCDE, n.d.). Outro conceito relevante para este tema é o conceito de *decoupling*, que reflete esta ideia de crescimento verde, e que pode ser distinguido entre *decoupling* relativo e *decoupling* absoluto. O primeiro refere-se a um crescimento superior do PIB face a um crescimento das emissões de CO₂. Apesar de as emissões de carbono continuarem a crescer com taxas mais reduzidas, este resultado não permite cumprir as metas climáticas ambicionadas pelos governos mundiais. As metas climáticas apenas se conseguem atingir se existir *decoupling* absoluto. Este conceito expõe o decrescimento das emissões de CO₂ face a um contínuo aumento do PIB. Na realidade, esta relação é difícil de atingir sobretudo quando se trata do *decoupling* absoluto. Apesar de alguns países europeus apresentarem um decrescimento das emissões de carbono, o mesmo não se pode dizer a nível mundial, no entanto, os países têm a ambição de lá chegar, mesmo que seja um caminho longo. O acordo de Paris assinado em 2015 reflete esse mesmo objetivo.

Em termos energéticos, os motores das economias a nível mundial residem nos combustíveis fósseis, isto é, o petróleo, carvão e gás natural. Apesar da proeminência das energias fósseis, as energias renováveis têm vindo a conquistar “espaço” a estas energias emissoras de CO₂. Como é referido no início, os combustíveis fósseis são poluentes, emissores de CO₂, embora uns emitem mais que outros. O carvão é um exemplo disso, este recurso é altamente poluente e menos eficiente quando comparado com os restantes, petróleo e gás natural. No último século verificou-se uma transição do carvão para o petróleo e por consequência um

decrecimento das emissões de CO₂ nas economias desenvolvidas. O que reforça o argumento de que alguns recursos energéticos são mais poluentes que outros.

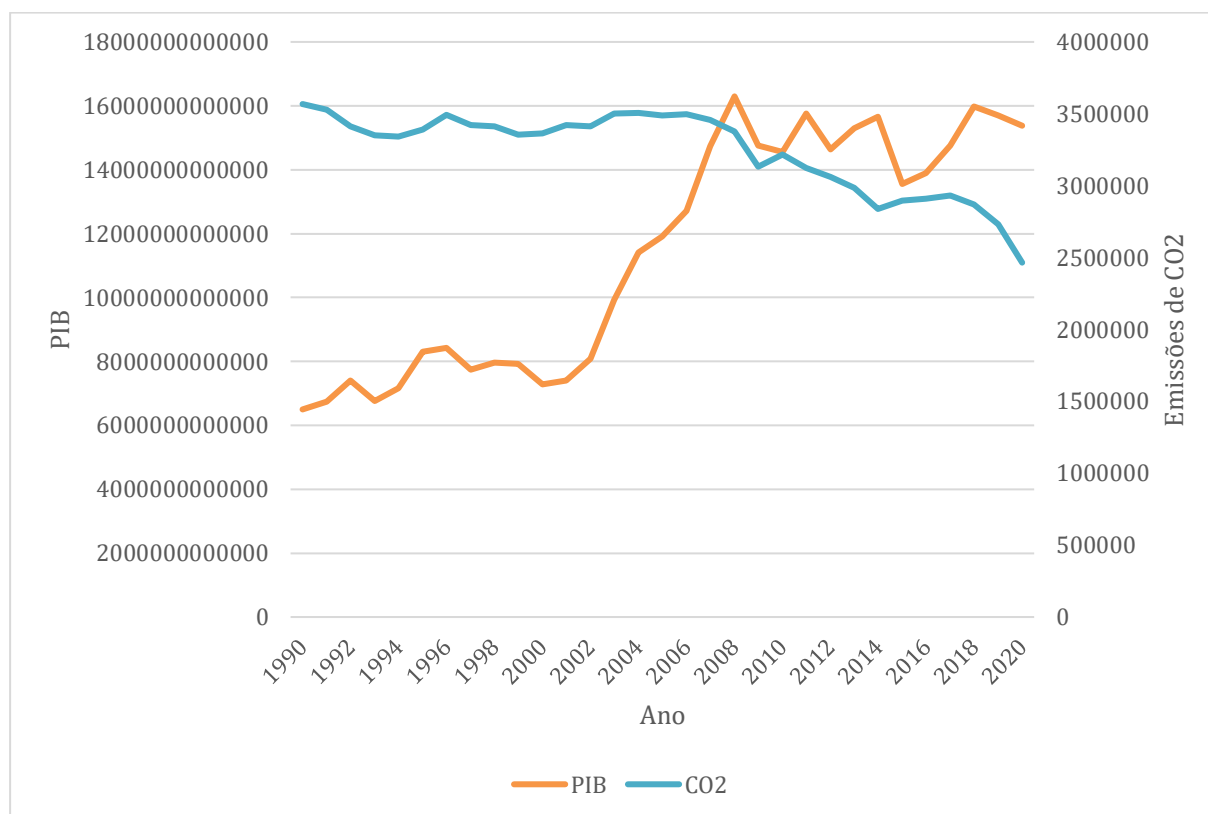
A nível da literatura global sobre o tema, o artigo de Hickel & Kallis (2020) compara o crescimento económico com o consumo de recursos, sejam estes extraídos a nível nacional ou importados menos as exportações. É com base nesta premissa que os autores identificam a existência ou não de *decoupling*. Hickel & Kallis (2020) referem que durante o século 20 o PIB cresceu a uma taxa média de 3% e o consumo de recursos 2% ao ano, o que permite concluir que os países a nível mundial estavam em *decoupling* relativo. No século 21 a tendência inverte-se, o consumo de materiais passou a crescer a uma taxa de 3,7% ao ano face aos 3% de crescimento do PIB por ano, o que permite concluir que não existe *decoupling* relativo nem absoluto. O presente artigo cita outros artigos onde existem cenários mais otimistas em relação ao *decoupling* a nível mundial, no entanto é contraposto com faltas de evidências empíricas em como é possível atingir as metas referidas nos mesmos trabalhos. Os autores estabelecem assim as seguintes conclusões em relação ao *decoupling* e o uso de recursos: a) pode ser possível para algumas economias avançadas atingir o *decoupling* absoluto no curto prazo; b) o *decoupling* absoluto não é possível à escala mundial e c) o *decoupling* absoluto não é possível manter no longo prazo. Existem embora alguns contrapontos referidos pelos mesmos autores às conclusões anteriores, nomeadamente o relativo à taxa de crescimento do PIB utilizada nos estudos. No artigo é referida uma taxa entre 2% e 3% por ano, no entanto pode não corresponder à realidade, no sentido que o crescimento verde pode ser atingido com taxas de crescimento do PIB mais baixas, por exemplo de 1%.

Numa perspetiva oposta encontra-se o artigo de le Quéré et al. (2019) onde refere que é possível a existência de *decoupling* absoluto. Este artigo produz um estudo sobre 18 economias avançadas onde quase todas pertencem à UE, com a exceção dos Estados Unidos da América e Reino Unido. O artigo refere que apesar de “durante os anos de 1960 e 1970, as emissões de CO₂ cresceram rapidamente, impulsionadas por um grande aumento na utilização de energia” le Quéré et al. (2019, p. 214), é a partir destas décadas e devido à transição para combustíveis fósseis menos poluentes que as emissões desceram, por exemplo a transição para o gás de xisto nos EUA. Para o período em análise, 2005-2015, regista-se uma diminuição das emissões para os 18 países em estudo. As razões para esta diminuição prendem-se com um maior uso de energias renováveis e a redução da intensidade energética. Os autores ainda referem um fraco crescimento do PIB para este período, mas positivo, 1%,

o que conjugado com os fatores anteriores indica que se atingiu o *decoupling* absoluto. O relatório da European Environment Agency (2021, p. 22) corrobora o último artigo citado, onde refere que “os países europeus conseguiram alguma dissociação absoluta entre a atividade do PIB e a poluição ambiental e a utilização de recursos”, isto é, o PIB está a crescer acompanhado de uma diminuição da poluição. A Agência Europeia do Ambiente (EEA) refere a hipótese das novas tecnologias promoverem a eficiência energética e assim reduzir as emissões emitidas, ao mesmo tempo que promovem o crescimento do PIB. O artigo de Herring (2006, p. 10) refere que “o efeito de melhorar a eficiência de um fator de produção, como a energia, é baixar o seu preço implícito e tornando assim a sua utilização mais acessível, levando assim a uma maior utilização”. Por outras palavras a eficiência energética por via de novas tecnologias pode ter o efeito contrário levando a um aumento do consumo de energia. O relatório de Parrique et al. (2019) refere que “não existe evidência empírica a suportar a existência de *decoupling*” absoluto na Europa (Parrique et al., 2019,p.32) e que a probabilidade de ocorrer no futuro é incerta. Os autores mencionam 7 fatores para explicar a probabilidade de não existir *decoupling* no futuro, “1) Aumento das despesas com energia, (2) efeitos de ricochete, (3) transferência de problemas, (4) impacto subestimado dos serviços, (5) o potencial limitado da reciclagem numa economia em crescimento, (6) mudanças tecnológicas insuficientes e inadequadas e (7) a deslocação de custos” ((Kerschner et al., 2019, p.55). Em cada um destes pontos os autores referem argumentos para a impossibilidade de se atingir o *decoupling*. Relativamente às energias renováveis os autores afirmam que a transição para este tipo de energias irá aumentar a procura por certos tipos de minerais essenciais para o seu funcionamento, o que leva a danos ambientais. Um exemplo referido no relatório é a exploração de lítio para as baterias elétricas. O relatório conclui que o problema reside na sobreprodução da economia, ou seja, a economia deve ser orientada para uma visão de sustentabilidade, uma unidade adicional de um produto implica um gasto adicional de recursos, o que é desnecessário. Como se pôde verificar a literatura não é consensual sobre o tema e levanta algum grau de ceticismo em relação ao *decoupling* de emissões de CO₂ e crescimento económico.

Numa tentativa de analisar se existe ou não *decoupling* na Europa extraiu-se dados do Banco Mundial do PIB da UE e os valores das emissões de carbono também da UE, cuja representação gráfica encontra-se abaixo, gráfico 1. O gráfico demonstra a tendência de crescimento do PIB para a UE de 1990 a 2020, eixo vertical esquerdo, em comparação com a evolução das emissões de CO₂ na UE para o mesmo período, eixo vertical direito.

Gráfico 1 – Comparação entre as emissões de CO₂ e os valores do PIB



Fonte: Elaboração própria com dados do Banco Mundial

No gráfico 1 pode-se verificar que o PIB tem uma tendência positiva de crescimento apesar de algumas quebras devido a crises financeiras. Já as emissões de dióxido de carbono revelam uma tendência constante até 2004 e a partir deste ano um decréscimo. Este gráfico revela a existência de *decoupling* absoluto, isto é, o PIB crescer e simultaneamente as emissões decrescerem. Uma possível explicação para a existência de *decoupling* absoluto reside no largo investimento em energias renováveis e na aposta no gás natural como transição entre petróleo e energias renováveis.

2.3. Investimento e Taxas ambientais

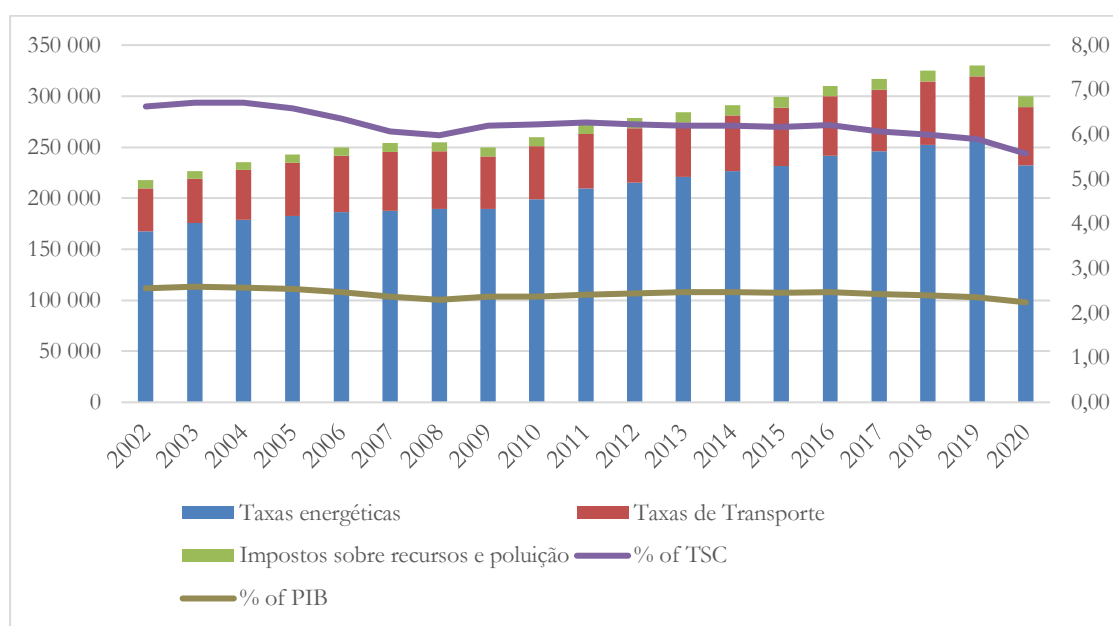
De forma a fomentar o investimento em energias renováveis os governos de cada país foram criando incentivos de forma a atrair investimento. Alguns destes mecanismos de incentivo são *feed-in-tariff* (FIT), certificados verdes, créditos fiscais e mais recentemente os leilões energéticos. O primeiro é uma referência a nível mundial tendo sido aplicado pela generalidade dos países europeus. Este mecanismo tem como objetivo garantir os preços de eletricidade produzidos por energias renováveis para um determinado período. Outra vantagem é a versatilidade do mesmo, adaptando-se aos vários tipos de tecnologia (eólica,

solar, etc.), qualidade do recurso, capacidade de geração em kWh, entre outros fatores facilitando o investimento de qualquer tipo de investidor, seja municípios, empresas ou particulares (Couture & Gagnon, 2010). Segundo Silva et al. (n.d.) FiT consiste no pagamento de uma taxa ao produtor de energia por kWh de energia produzido, de forma a gerar lucro para o produtor e fomentar o investimento neste tipo de energias. De acordo com a Commission Staff Working Document (2008, p.3.) os “regimes correntes de *feed in tariff* bem-adaptados são geralmente os regimes de apoio mais eficientes e eficazes para a promoção de eletricidade renovável”. Os certificados de energia são mecanismos aplicados no Reino Unido até 2017 e nos Estados Unidos da América (EUA), onde se designam por *Renewable Obligation Certificates*. Estes consistem na atribuição de um certificado a um produtor de energia com um determinado valor monetário. O fornecedor compromete-se assim a cumprir com os valores de produção contemplados no certificado (OFGEM, n.d.). Os créditos fiscais consistem em deduções fiscais nos impostos devidos ao Estado, pelo investimento realizado em energia renovável. Este modelo é aplicado nos EUA, onde os cidadãos podem deduzir as despesas de investimento em energia renovável na declaração de rendimentos (EE&RE, 2022). Por último os leilões de energia introduzidos pela Dinamarca em 2005 e Portugal em 2006 visam incentivar a concorrência entre os investidores interessados no projeto. O objetivo final deste mecanismo é reduzir os custos de apoio ao projeto, para os consumidores e para o mercado de eletricidade (Commission Staff Working Document, 2008).

As taxas ambientais são outro mecanismo indireto de financiar as energias renováveis e têm como finalidade a obrigação de pagar uma taxa sobre os agentes que poluem o ambiente, “é o princípio de quem contamina deve pagar, de tal forma que o preço também reflita o custo destas externalidades” (Iberdrola, n.d.). Este tipo de imposto difere de país para país, bem como o valor da taxa a aplicar, no entanto a finalidade é mesma, visam apoiar projetos ambientais e de sustentabilidade e investimento em energias renováveis (Iberdrola, n.d.). Segundo o Eurostat (2022), em 2020, as taxas no setor energético contabilizaram 77% do total dos impostos ambientais. No gráfico 2 encontram-se discriminados os pesos dos setores no total de imposto ambiental arrecadado, onde se verifica que o setor energético é aquele que mais contribui. Pode-se retirar mais duas conclusões, a primeira é que as receitas ambientais em % do PIB e o total das contribuições sociais (TSC) ou receitas do estado têm vindo a decrescer em %. Isto é apesar de os montantes arrecadados por via destes impostos terem vindo a aumentar ano após ano, a % destes montantes no PIB e nas receitas do estado

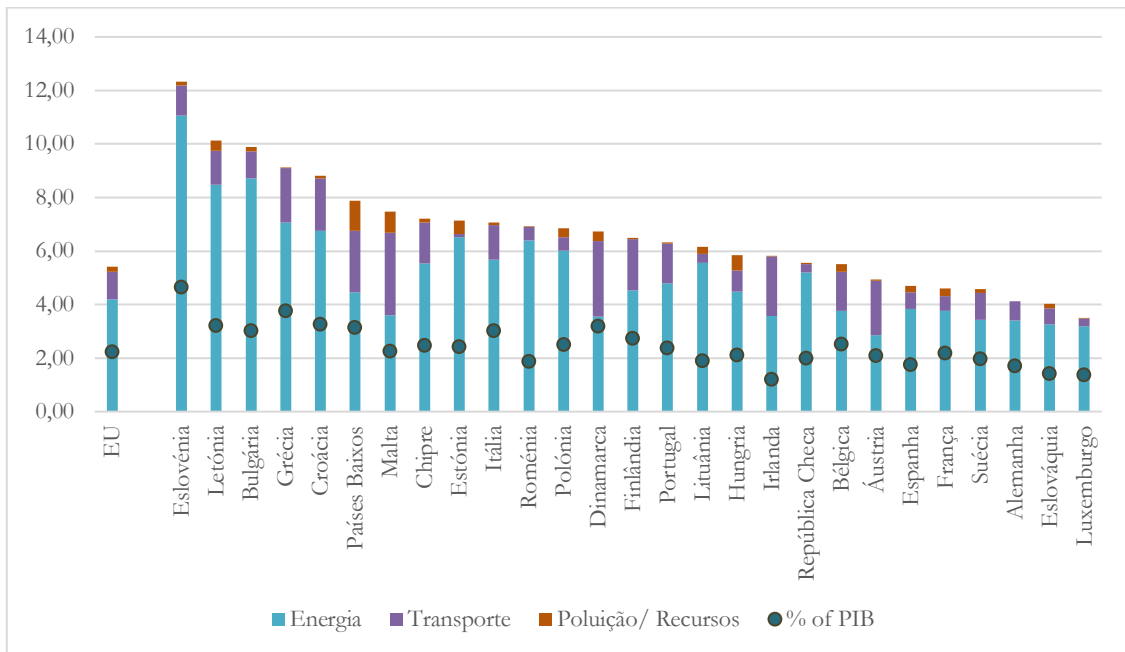
têm vindo a descer, o que permite concluir que tanto o PIB como as receitas do estado estão a aumentar em maior proporção que as receitas provenientes de impostos ambientais. O ano de 2020 demonstra um decréscimo destas receitas em comparação com anos anteriores, uma possível explicação para estes valores é a interrupção das atividades produtivas à escala global no âmbito da pandemia Covid-19. No gráfico 3 é possível observar o total das taxas ambientais por país, onde se conclui que a Suécia, a Letónia e a Bulgária são os países onde as taxas ambientais são mais altas e no oposto está a Alemanha, Eslováquia e Luxemburgo (Eurostat, 2022).

Gráfico 2 - Receitas ambientais por tipo e total em % do PIB e TSC



Fonte: Eurostat (2022)

Gráfico 3 - Receitas ambientais por tipo e país em % PIB



Fonte: Eurostat (2022)

2.4. Consequências da falta de investimento em energias renováveis

Conforme foi analisado nas secções anteriores, o investimento em energias renováveis é fundamental para combater as alterações climáticas e diminuir a pegada ecológica dos países, no entanto é necessário analisar os custos de implementação destas medidas. Neste sentido, o Fundo Monetário Internacional (FMI) produziu um estudo sobre os custos para a economia do adiamento do investimento em energias verdes. Os autores referem que apesar da mudança de estratégia das políticas energéticas, de combustíveis fósseis para energias renováveis, e do seu elevado custo para a economia, os benefícios originários do abrandamento das alterações climáticas compensariam estes mesmos custos. Caso as medidas certas fossem implementadas no imediato e até 2030, os custos para a economia seriam menores do que o adiamento destes investimentos para o futuro (Carton & Natal, 2022).

De forma a corroborar as conclusões referidas, os autores estimaram um modelo onde avaliam o impacto da transição para as energias renováveis no curto prazo. Para tal dividem os países a nível mundial em 4 grupos, China, EUA, zona Euro e resto do mundo.

“Partimos da premissa de que cada região introduz políticas neutras em termos orçamentário,

incluindo tributos sobre os gases de efeito estufa, que são aumentados gradualmente para alcançar uma redução de 25% nas emissões até 2030, combinadas com transferências para as famílias, subsídios a tecnologias de baixa emissão e cortes de tributos trabalhistas”. (Carton & Natal, 2022)

Os resultados obtidos demonstram que a implementação de políticas de energias verdes pode desacelerar a economia global entre 0,15 e 0,25 pontos percentuais (p.p.) ano, entre 2022 e 2030, conforme a rapidez das diferentes regiões na redução de consumo de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade. É referido que, quanto mais lenta for a transição para as energias limpas, maior terá de ser o aumento nas taxas ambientais para incentivar estas mudanças, resultando em maiores custos macroeconómicos no produto e na inflação. Neste contexto os custos para o resto do mundo serão maiores do que para a Europa, China e EUA, os autores estimam que permaneçam entre 0,05 e 0,20 p.p. numa média de 8 anos para as três últimas regiões. Para os países exportadores de petróleo e países intensivos em consumo de energia é natural que os custos de transição para renováveis sejam maiores que para os restantes países. É de ressaltar que as economias devem estar preparadas para potenciais perdas de produto no longo prazo em virtude de fenómenos climáticos inesperados (Carton & Natal, 2022).

Na adoção de políticas sustentáveis ou verdes deve-se ter em conta as expectativas das famílias e empresas na adoção das mesmas. Caso as políticas climáticas não sejam credíveis, pode resultar em custos superiores para a transição climática, pois empresas e famílias não assumirão os custos dessas políticas nas suas expectativas futuras. Neste sentido a política monetária tem um papel preponderante na expectativa dos agentes e na estabilização do produto e da inflação. As famílias e empresas irão incorporar nas suas expectativas a transição para uma economia neutra em carbono e assim a política monetária dos bancos centrais terá de assumir estas expectativas nas suas previsões para a inflação. Estas mudanças nas expectativas terão custos menores do que aqueles ocorridos ao nível da oferta e que provocam subidas de preços de energia. Num cenário de inflação mais elevada, os autores não aconselham o adiamento das políticas climáticas, pois estas terão um custo superior em termos de impostos ambientais. As transições teriam de acontecer mais rapidamente e o custo para o PIB real seria maior. Assim a “transição para uma economia mais limpa implica custos no curto prazo, que irão aumentar à medida que esta é adiada” (Carton & Natal, 2022).

3. Metodologia

3.1. Dados

Como foi observado na secção anterior o modelo de dados em painel é o mais frequente para estudar esta temática, uma vez que estuda um longo período temporal. Outro fator de concordância nos diversos estudos reside na escolha das variáveis a utilizar. É de facto unânime o produto interno bruto como variável dependente, visto que o objetivo é avaliar o impacto no crescimento económico. Igualmente o consumo de energias renováveis é necessário incluir dado que o estudo é relativo ao impacto deste tipo de energias no crescimento económico. As restantes variáveis nos diversos artigos variam conforme o objetivo dos estudos em si. No presente estudo inclui-se a formação bruta de capital fixo, por outras palavras todo o investimento bruto em capital fixo no país, a força de trabalho que compreende ao número de pessoas acima dos 15 anos que trabalham ou estão à procura de emprego e assim contribuem positivamente para a produção de bens e serviços no país. Este valor pode variar devido aos trabalhadores sazonais. A última variável explicativa é o consumo de energias não renováveis, cujo objetivo é servir de fator de comparação com as energias renováveis relativamente ao impacto no produto interno bruto. O período temporal escolhido situa-se entre 2000 e 2021, uma vez que neste período se regista um maior incremento de energias renováveis nos diversos países europeus. A amostra escolhida para o presente estudo é os 27 estados-membros da UE, ou seja, Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Polónia, Portugal, República Checa, Roménia e Suécia. Assim regista-se a seguinte equação em estudo, onde o produto interno bruto é (GDP), a formação bruta de capital fixo é (GFCF), a força de trabalho (LF), o consumo de energias renováveis (REC), o consumo de energias fósseis (NREC), i o ano e j o país. É de notar que em cada variável encontram-se as letras pc que significam *per capita*.

$$\text{LnGDP}_{pc} = \text{LnGFCF}_{pc,ij} + \text{LnLF}_{pc,ij} + \text{LnREC}_{pc,ij} + \text{LnNREC}_{pc,ij} \quad (3.1.1)$$

Para a recolha dos dados utilizou-se duas plataformas, o Banco Mundial e o Eurostat. No Banco Mundial retirou-se o PIB, a GFCF, a força de trabalho e a população de cada país para o período de 2000 a 2021. No Eurostat retirou-se os balanços energéticos de cada país para cada ano em específico por forma a se calcular respetivamente o consumo de energia com origem renovável e consumo com origem fóssil. Em particular neste estudo as variáveis

visadas são a produção bruta de energia e o consumo final de energia (uso energético) tendo como referência de matéria-prima as energias renováveis e biocombustíveis e a eletricidade. No balanço energético do Eurostat as energias renováveis não se encontram separadas dos biocombustíveis. Os cálculos efetuados foram os seguintes onde RE representa energia renovável e TE o total de eletricidade.

$$\% \text{ Consumo de RE (s/ eletricidade)} = \frac{\text{Renováveis com consumo direto em energia}}{\text{Consumo final de energia (uso energético)}} \quad (3.1.2)$$

$$\% \text{ eletricidade renovável} = \frac{\text{Produção de energia renovável na eletricidade}}{\text{Produção total de eletricidade}} \quad (3.1.3)$$

$$\% \text{ TE no consumo final de energia} = \frac{\text{Eletricidade consumida}}{\text{Consumo final de energia (uso energético)}} \quad (3.1.4)$$

A equação (3.1.2) calcula de imediato a percentagem de consumo de energias renováveis no país excluindo a produção de eletricidade com origem renovável. Este cálculo é importante uma vez que as energias renováveis não contribuem apenas para a produção de eletricidade, mas também para outros setores da economia, veja-se por exemplo o caso do hidrogénio verde no setor dos transportes. As equações (3.1.3) e (3.1.4) permitem calcular a percentagem de eletricidade consumida no país com origem renovável.

$$\% \text{ TE origem renovável} = \% \text{ eletric. renovável} * \% \text{ TE no consumo final de energia} \quad (3.1.5)$$

A equação (3.1.5) apura a percentagem de eletricidade com origem renovável no total de toda a eletricidade consumida. Matematicamente o resultado da equação (3.1.5) é a multiplicação das equações (3.1.3) e (3.1.4).

$$\% \text{ total de RE} = \% \text{ Consumo de RE (s/eletricidade)} + \% \text{ TE origem renovável} \quad (3.1.6)$$

$$\text{Ktep de RE} = \% \text{ total de RE} * \text{consumo final de energia (uso energético)} \quad (3.1.7)$$

$$\text{Ktep de CF} = \text{consumo final de energia (uso energético)} - \text{Ktep de RE} \quad (3.1.8)$$

Por fim a equação (3.1.6) determina a percentagem de energia com origem renovável que serve de base para calcular os valores em termos absolutos de consumo de energia com origem renovável e fóssil. A equação (3.1.7) e (3.1.8) representam os valores absolutos em ktep¹ (quilo toneladas equivalentes de petróleo), equação (3.1.7) para as energias renováveis e a equação (3.1.8) para os combustíveis fósseis (CF). Para terminar dividiu-se cada uma das variáveis pela população do respetivo país por forma a obter-se valores *per capita*, conforme

¹ 1 tep=41.868 GJ, 1 ktep= 10³ tepts

o artigo de Shahbaz et al. (2020).

3.2. Estimação de resultados

A metodologia utilizada no presente modelo segue de perto as metodologias de Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016). Neste enquadramento procedeu-se à importação do ficheiro excel no software stata, seguido da logaritmização das variáveis e estimação das estatísticas descritivas. Na tabela que se segue (tabela 4) encontram-se as estatísticas descritivas do modelo onde se pode retirar as seguintes conclusões. O número de observações no modelo é de 594 para todas as variáveis, com exceção para o logaritmo do consumo de energias renováveis que detêm 589. Este valor inferior é devido ao consumo nulo de energias renováveis entre 2000 e 2004 para o país Malta. É de realçar os valores negativos -0,73, -8,20 e -6,36 para a média das seguintes variáveis, logaritmo da força de trabalho em termos per capita, logaritmo do consumo de energias renováveis per capita e o logaritmo do consumo de energias não renováveis per capita. Estes valores quando analisados em conjunto com o desvio padrão (0,074, 0,923 e 0,429, respetivamente) podem indiciar uma tendência de decrescimento na força de trabalho, possivelmente devido ao envelhecimento da população europeia, bem como uma redução do consumo de energia devido aos ganhos de eficiência energética, no entanto é necessário ressaltar que as variáveis foram logaritimizadas e encontram-se divididas pela população total.

Tabela 4 - Estatísticas descritivas

Variável	Observações	Média	Desvio padrão	Min.	Max
Id	594	14	7,795	1	27
Year	594	2010,5	6,350	2000	2021
Lngdppc	594	10,04	0,692	8,22	11,63
Lngfcfpc	594	8,49	0,716	6,33	10,58
Lnlfpc	594	-0,73	0,074	-0,93	-0,60
Lnrecpc	589	-8,20	0,923	-12,93	-6,24
Lnnrecpc	594	-6,36	0,429	-7,27	-4,79

Fonte: Elaboração própria com dados do stata

Após a análise anterior realizou-se diversos testes econométricos, nomeadamente o estudo da presença de multicolinearidade, da presença de autocorrelação, da presença de heterocedasticidade, teste de Hausman, teste de endogeneidade, teste de dependência

transversal, teste de raízes unitárias, teste de causalidade e teste de cointegração. O objetivo dos testes referidos é apurar se as variáveis estão bem estimadas e se são significativas para a execução do modelo.

A multicolinearidade é a relação colinear entre duas ou mais variáveis independentes, o que constitui uma importância relevante o estudo do modelo. Para o estudo deste problema realizou-se dois testes, a matriz das correlações e o teste de VIF (*variance inflation factor*). O primeiro, demonstrado na tabela 5 permite concluir que não parece existir multicolinearidade uma vez que não existem valores muito próximos de 1. O teste de VIF demonstrado na tabela 6 retira as dúvidas.

Tabela 5 - Matriz das Correlações

	Id	Year	Lngdppc	Lngfcfpc	Lnlfpc	Lnrecpc	Lnnrecpc
Id	1.000						
Year	0.007	1.000					
Lngdppc	-0.018	0.153	1.000				
Lngfcfpc	-0.042	0.132	0.969	1.000			
Lnlfpc	0.162	0.218	0.284	0.326	1.000		
Lnrecpc	-0.015	0.319	0.286	0.311	0.349	1.000	
Lnnrecpc	-0.079	-0.163	0.783	0.779	0.161	0.254	1.000

Fonte: Elaboração própria com resultados do stata

Tabela 6 - Teste de VIF

Variável	VIF	1/VIF
Lngfcfpc	2.87	0.348
Lnnrecpc	2.62	0.381
Lnlfpc	1.25	0.802
Lnrecpc	1.20	0.831
Média VIF	1.99	

Fonte: Elaboração própria com dados do stata

Dado os resultados da tabela 6 pode-se concluir que não existe multicolinearidade no modelo, uma vez que os valores de VIF são inferiores a 10. Se os valores fossem superiores a 10 existia no modelo o problema de multicolinearidade.

O pressuposto de heterocedasticidade segundo Murteira & Castro (2018), significa que a variância condicional do erro dadas as variáveis independentes, não é constante. Por outras palavras, se as variâncias do erro de cada variável explicativa sobre a variável dependente se alterarem estamos perante o pressuposto de heterocedasticidade. Para a execução do estudo da heterocedasticidade seguiu-se Guimarães (2021), onde são indicados dois testes, teste Breusch-Pagan e o teste de White. Adicionalmente o livro de Fuinhas et al. (2019) indica o teste modificado de Wald para testar a heterocedasticidade em dados em painel. Uma vez que, todos os testes referidos são testes de hipóteses a conclusão a retirar é simples, ou rejeita-se ou aceita-se a hipótese nula, homocedasticidade no modelo. No caso de a probabilidade final do teste ser inferior para cada um dos níveis de significância (1%, 5% e 10%) rejeita-se a hipótese nula. No presente modelo a probabilidade obtida para qualquer teste foi de 0,00, isto é, inferior a 1%, ou seja, existe heterocedasticidade no modelo.

O conceito de autocorrelação, de acordo com o livro de Murteira & Castro, (2018, p.203), existe “se os erros do modelo são correlacionados”. Na execução do teste à autocorrelação seguiu-se novamente o livro de Fuinhas et al. (2019), onde realizou-se o teste de Wooldridge. Neste caso a hipótese nula prende-se com a não existência de autocorrelação de primeira ordem. A probabilidade obtida foi de 0,00 o que se verifica a rejeição da hipótese nula para 1%, isto é, existe autocorrelação no modelo.

Dado o problema da autocorrelação e heterocedasticidade no modelo é necessário corrigir estas duas situações, de forma a tornar a análise da regressão mais fiável. Assim procedeu-se à execução do estimador Newey-West que corrigiu os desvios padrão da regressão.

O teste de Hausman permite apurar qual o modelo apropriado (efeitos fixos ou efeitos variáveis) é o mais indicado para o presente estudo. Seguindo novamente o livro de Fuinhas et al. (2019), o modelo indicado a executar é o de efeitos fixos, pois a probabilidade obtida foi de 0.00, ou seja, rejeita-se a hipótese nula do teste, diferenças nos coeficientes não são sistemáticas.

O teste de dependência transversal ou em inglês (*cross-sectional dependence*) analisa a existência ou não de dependência entre as variáveis, como o próprio nome refere. Neste âmbito seguiu-se a abordagem de Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016), onde executam o

teste de Pesaran e verificam a existência ou não de dependência transversal. O artigo de Shahbaz et al. (2020) refere que pode existir esta característica nos dados devido aos negócios, políticas comuns ambientais, finanças e à economia regional. Neste sentido e como a presente amostra prende-se com apenas países membros da UE pode-se argumentar que a integração financeira e económica e a adoção de políticas comuns nas mais diversas áreas propostas pela comissão europeia constituem um fator de justificação para a existência de dependência transversal no modelo. A probabilidade obtida no teste de Pesaran foi de 0,00, pelo que se rejeita a hipótese nula, isto é, existe dependência transversal no modelo.

O conceito de estacionariedade implica que a média, a variância e a covariância sejam constantes ao longo do tempo, caso este pressuposto não se verifique não existe estacionariedade (Fuinhas et al., 2019). O artigo de Im et al., (2003) testa a estacionariedade para dados em painel e apresenta a seguinte equação (9), para testar o seu modelo.

$$\Delta y_{it} = \alpha_i + \beta_i y_{i,t-1} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Os autores testam a hipótese nula das raízes unitárias ser $\beta_i = 0$ e a alternativa H1: $\beta_i < 0$. No caso de rejeição da hipótese nula, os autores referem que não significa que a raiz unitária é rejeitada para todos os i , mas apenas para $N_1 < N$, onde $N \rightarrow \infty$; $N_1/N \rightarrow \delta > 0$ Im et al., (2003). Para a execução do teste de estacionariedade seguiu-se novamente o livro de Fuinhas et al. (2019), cujos resultados se encontram expostos na tabela 7.

Tabela 7 - Teste de raiz unitária

Variável	Especificação sem a tendência			Especificação com a tendência		
	lags	Zt-bar	p-value	lags	Zt-bar	p-value
lngdppc	0	0,771	0,780	0	3,179	0,999
lngdppc	1	1,210	0,887	1	2,844	0,998
lngdppc	2	1,822	0,966	2	3,918	1
lngdppc	3	2,566	0,995	3	5,503	1
lngfcfpc	0	0,499	0,691	0	-0,326	0,372
lngfcfpc	1	0,358	0,640	1	-1,503	0,066
lngfcfpc	2	-0,506	0,306	2	0,883	0,811
lngfcfpc	3	1,045	0,852	3	3,077	0,999
lnlfpc	0	-0,485	0,314	0	1,294	0,902
lnlfpc	1	-0,434	0,332	1	1,385	0,917

Variável	Especificação sem a tendência			Especificação com a tendência		
	lags	Zt-bar	p-value	lags	Zt-bar	p-value
lnlfp	2	-0,570	0,284	2	2,219	0,987
lnlfp	3	-1,087	0,139	3	2,369	0,991
lnrecpc	0	-1,583	0,057	0	-1,474	0,070
lnrecpc	1	-1,636	0,051	1	-0,740	0,230
lnrecpc	2	-0,344	0,365	2	0,547	0,708
lnrecpc	3	-0,535	0,296	3	0,854	0,803
lnnrecpc	0	-0,362	0,359	0	-1,770	0,038
lnnrecpc	1	2,170	0,985	1	1,288	0,901
lnnrecpc	2	2,549	0,995	2	2,765	0,997
lnnrecpc	3	2,752	0,997	3	2,128	0,983

Fonte: Elaboração própria com recurso aos resultados do stata

Os resultados do stata indicam que a série tem uma raiz unitária, isto é, $I(1)$. A variável dependente $\ln gdp_{pc}$ não tem nenhum valor p-value inferior para qualquer nível de significância (1%, 5% e 10%), com ou sem tendência, ou seja, não é possível rejeitar H_0 logo não é estacionária. As variáveis $\ln gfcf_{pc}$, $\ln lfp$ e $\ln nrecpc$ não são estacionárias na especificação sem a tendência, uma vez que o p-value para qualquer desfasamento é superior a qualquer nível de significância. Na especificação com a tendência as variáveis $\ln gfcf_{pc}$, $\ln lfp$ e $\ln nrecpc$ não são estacionárias, com exceção para o desfasamento 0 para a variável $\ln nrecpc$. O $\ln recpc$ é estacionária para a especificação sem a tendência e desfasamentos 0 e 1. Nos desfasamentos 2 e 3 na especificação sem a tendência desta variável ($\ln recpc$), a variável não é estacionária. Na especificação com a tendência, a variável $\ln recpc$ é estacionária para o desfasamento 0, isto rejeita-se a hipótese nula para 10%, no entanto não é estacionária para os restantes desfasamentos 1, 2 e 3. Perante estes resultados pode-se concluir que a série não é estacionária e tem uma raiz unitária. Os resultados obtidos estão em concordância com os obtidos por Shahbaz et al. (2020).

Por forma a corrigir este problema procedeu-se ao cálculo das primeiras diferenças para cada variável, isto é, retirar o valor da observação anterior ($n-1$) à atual (n). Após o cálculo das primeiras diferenças executou-se novamente o teste das raízes unitárias, os resultados encontram-se abaixo.

Tabela 8 - Teste de raízes unitárias com as primeiras diferenças

Variável	Especificação sem a tendência			Especificação com a tendência		
	lags	Zt-bar	p-value	lags	Zt-bar	p-value
Primeira_dif_lngdppc	0	-7,843	0,00	0	-5,675	0,00
Primeira_dif_lngdppc	1	-3,490	0,00	1	-1,391	0,082
Primeira_dif_lngfcfpc	0	-9,922	0,00	0	-7,603	0,00
Primeira_dif_lngfcfpc	1	-8,157	0,00	1	-6,576	0,00
Primeira_dif_lnlfp	0	-12,702	0,00	0	-10,788	0,00
Primeira_dif_lnlfp	1	-6773	0,00	1	-4,121	0,00
Primeira_dif_lnrecpc	0	-15,350	0,00	0	-13,691	0,00
Primeira_dif_lnrecpc	1	-8,540	0,00	1	-7,040	0,00
Primeira_dif_lnnrecpc	0	-14,312	0,00	0	-12,890	0,00
Primeira_dif_lnnrecpc	1	-9,314	0,00	1	-7,690	0,00

Fonte: Elaboração própria com recurso a resultados do stata

Os resultados da tabela 8 demonstram que a solução das primeiras diferenças corrigiu a série, tornando-a estacionária. Numa análise mais detalhada conclui-se que para a especificação sem a tendência rejeita-se a hipótese nula, não é estacionária, para o nível de significância de 1%. Para a especificação com a tendência rejeita-se a hipótese nula para todos os níveis de significância, com exceção para a primeira diferença do lngdppc com desfasamento de 1, que se rejeita para 10%.

O pressuposto de endogeneidade refere a existência de uma correlação entre as variáveis explicativas e o erro do modelo, segundo Murteira & Castro (2018). O conceito de exogeneidade é o oposto, ou seja, a ausência de correlação. No âmbito dos testes à endogeneidade seguiu-se (Guimarães, 2021a) e aplicou-se o teste Durbin-Wu-Hausman para testar a endogeneidade do modelo. Definiu-se como variável endógena as primeiras diferenças do logaritmo do consumo de energias renováveis. As variáveis instrumentais definidas foram as primeiras diferenças do logaritmo da formação bruta de capital fixo e da força de trabalho. A hipótese nula do teste é as variáveis são exógenas. Efetuou-se o teste e a probabilidade obtida para o Wu-Hausman foi de 0,00, isto é, rejeita-se a hipótese nula pelo que o logaritmo do consumo de energias renováveis é uma variável endógena. De forma a verificar se o modelo se encontra bem estimado executou-se o teste de sobre identificação de Sargan. Novamente seguiu-se (Guimarães, 2021a) com a abordagem deste teste. A

probabilidade obtida foi de 0,69 maior que qualquer nível de significância pelo que o modelo se encontra bem identificado.

O conceito de causalidade exposto por Granger contribuiu fundamentalmente para o estudo das relações entre variáveis. Granger demonstrou que uma variável x pode contribuir positivamente para outra variável y , se os valores passados e presentes de x forem significantes e ajudarem a prever os valores atuais e futuros de y . Na previsão do y inclui-se ainda os valores passados deste. Caso os valores de x contribuam para a previsão de y , então pode-se afirmar que x exerce uma influência causal sobre y (Granger, 1969; Lopez & Weber, 2017). No artigo de (Granger, 1969) são referidas 4 definições de causalidade: 1) definição de causalidade, onde y causa x ; 2) *feedback*, onde y causa x e x causa y , relação bidirecional; 3) causalidade instantânea, onde y causa x , ou seja, “o valor presente de x é melhor previsto se o valor presente de y é incluído na previsão” (Granger, 1969, p.429); 4) causalidade desfasada, y causa x , onde os valores passados de y não ajudam a prever o valor atual de x .

O estudo da causalidade no presente modelo seguiu a abordagem de Dumitrescu-Hurlin, onde estes autores expandiram o teste de causalidade de Granger para dados em painel. Lopez & Weber (2017) referem que o teste de Dumitrescu-Hurlin pode assumir a presença de causalidade, no entanto a mesma pode não se verificar para todos os indivíduos em análise, no presente modelo trata-se de países.

A tabela 9 contém os resultados do teste de Dumitrescu-Hurlin para a causalidade. A interpretação dos resultados valida-se através do valor do p-value. Caso este valor seja inferior a qualquer um dos níveis de significância (1%, 5% e 10%) rejeita-se a hipótese nula, isto é, não existe causalidade de Granger entre as variáveis.

Tabela 9 - Teste Dumitrescu-Hurlin para a causalidade

Hipótese nula	Z-bar tilde	p-value
primeira_dif_lngfcfpc não causa primeira_dif_lngdppc	1,34	0,18
primeira_dif_lngdppc não causa primeira_dif_lngfcfpc	3,67	0,00
primeira_dif_lnlfpc não causa primeira_dif_lngdppc	-0,49	0,62
primeira_dif_lngdppc não causa primeira_dif_lnlfpc	4,25	0,00
primeira_dif_lnnrecpc não causa primeira_dif_lngdppc	-0,10	0,92

Hipótese nula	Z-bar tilde	p-value
primeira_dif_lngdppc não causa primeira_dif_lnnrecpc	2,97	0,00
primeira_dif_lnnrecpc não causa primeira_dif_lngdppc	-2,17	0,03
primeira_dif_lngdppc não causa primeira_dif_lnnrecpc	0,97	0,33

Fonte: Elaboração própria com recurso a resultados do stata

Os resultados da tabela 9 demonstram que as primeiras diferenças de lngdppc causam as primeiras diferenças de lngfcfpc, lnlfpc e lnnrecpc, isto é, rejeita-se a hipótese nula uma vez que a probabilidade obtida no teste foi de 0,00, inferior a qualquer nível de significância. As primeiras diferenças de lngfcfpc, lnlfpc e lnnrecpc não causam as primeiras diferenças de lngdppc, pois as probabilidades obtidas são superiores a qualquer um dos níveis de significância, 0,18, 0,62 e 0,92, respetivamente. Em relação às primeiras diferenças de lnnrecpc, esta variável não segue a mesma tendência que as restantes variáveis. Rejeita-se a hipótese nula para as primeiras diferenças de lnnrecpc sobre as primeiras diferenças de lngdppc, isto é, o lnnrecpc causa o lngdppc. Relativamente às primeiras diferenças de lngdppc sobre as primeiras diferenças de lnnrecpc, aceita-se a hipótese nula, isto é, o lngdppc não causa lnnrecpc pois a probabilidade obtida é de 0,33 superior a qualquer um dos níveis de significância.

O teste de cointegração permite estudar a relação de longo prazo entre as variáveis. Para o modelo em estudo existem diversos testes ao dispor, o teste de Pedroni, o teste de Kao e o teste de Westerlund, que se encontram disponíveis no stata. Assim procedeu-se à execução do teste de Westerlund, cujos resultados se encontram abaixo na tabela 10. A interpretação dos resultados faz-se através de um teste de hipóteses, onde a rejeição da hipótese nula, implica a existência de cointegração na série. Assim, dado o valor de 0,026 rejeita-se a hipótese nula para 5%, isto é, a série é cointegrada.

Tabela 10 - Teste de cointegração de painel de Westerlund

	Estatística	p-value
<i>Variance ratio</i>	1,944	0.026

Fonte: Elaboração própria com recurso a resultados do stata

4. Discussão de resultados

Por forma a estimar as elasticidades de longo prazo aplicou-se o modelo *full modified ordinary least squares* (FMOLS) e o *dynamic ordinary least squares* (DOLS). Ambos os dois modelos aplicados seguem a mesma metodologia que Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016). Os resultados obtidos encontram-se expostos nas tabelas 11 e 12, onde na primeira compara-se o modelo FMOLS com o DOLS, e na tabela 12 encontra-se discriminado por país os resultados do FMOLS.

Tabela 11 - Elasticidades de longo prazo para dados em painel

	FMOLS		DOLS	
	Coefficientes	t-statistic	Coefficientes	t-statistic
primeira_dif_lngfcfpc	0.24 ^{***}	75.35	0.52	-
primeira_dif_lnlfcpc	0.49 ^{**}	20.39	-0.77	-
Primeira_dif_lnnrecpc	0.28 ^{***}	48.11	0.40	-
Primeira_dif_lnrecpc	0.04 ^{***}	8.44	-0.02	-

Nota: *** corresponde ao nível de 1%, ** a 5% e * a 10%.

O resultado da tabela 11 demonstra os resultados obtidos para o FMOLS e DOLS². Não sendo possível concluir se os coeficientes do modelo DOLS são significativos ou não, apenas se procede à análise dos resultados do FMOLS. Os coeficientes neste modelo são todos significativos para 1%, com exceção da força de trabalho que é significativo para 5%. Seguindo a mesma interpretação dos artigos referidos anteriormente conclui-se que 1% de aumento na formação bruta de capital fixo per capita aumenta em 0,24% o PIB per capita. Este resultado é muito inferior ao obtido pelo Shahbaz et al. (2020) e Bhattacharya et al. (2016), 0,332% e 0,395% respetivamente. A explicação para o mesmo deve-se à amostra de países e período temporal diferente. Relativamente à força de trabalho um aumento de 1% nesta variável provoca um incremento de 0,49% no PIBpc. Esta evidência está em linha novamente com Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016), no entanto com percentagens de impacto no PIBpc inferiores. O impacto de 1% no consumo de energias não renováveis provoca um aumento de 0,28% no PIBpc. O resultado obtido segue os mesmos resultados que os artigos supracitados, tendência positiva. Por último, um aumento de 1% no consumo de energias renováveis promove um crescimento de 0,04% no PIBpc.

² Não foi possível obter a estatística t para o DOLS pelo não se consegue concluir se os resultados são significativos ou não para o modelo.

Este resultado apesar de positivo é muito inferior aos registados por Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016) que obtiveram 0,290% e 0,109%, respetivamente.

Os artigos de Shahbaz et al. (2020) e de Bhattacharya et al. (2016) trabalham com uma amostra mundial, ora como o presente trabalho foca-se apenas na União Europeia é relevante comparar e refletir sobre os resultados estimados por outros artigos com foco em países europeus. Neste enquadramento, o artigo de Menegaki (2011) para a UE³ no período de 1997-2007 demonstra resultados muito díspares face aos apresentados acima. A autora revela que o impacto das energias renováveis no PIB é de 4,4%, um valor bastante acima ao obtido, 0,4%. É de salientar que o impacto dos combustíveis fósseis no PIB é de 6% para o artigo de Menegaki (2011) em comparação com os 0,28% obtidos no presente estudo. O artigo de Ntanos et al. (2018) para 25 países europeus para o período de 2007-2016 tem resultados semelhantes aos deste presente trabalho, porém superiores. Os autores dividem os países em dois clusters, cluster 1 países com maior PIB e consumo de energias renováveis e cluster 2, países com menor PIB e menor consumo de energias renováveis. Os resultados obtidos por estes autores demonstram um crescimento de 0,603% e 0,477% para o cluster 1 e cluster 2, respetivamente, face a um aumento de 1% no consumo de energias renováveis. O artigo de Marques & Fuinhas (2012) para 24 países europeus, para o período de 1990-2007 têm resultados mais pessimista face aqueles obtidos por este trabalho. Os autores estabelecem uma relação negativa entre crescimento económico e consumo de energias renováveis, onde o aumento de 1% no consumo de energias renováveis provoca um decréscimo de 3%.

Um fator comum entre a literatura sobre este tema e os resultados alcançados reside no papel preponderante dos combustíveis fósseis face às energias renováveis. Em todos os artigos analisados, o impacto dos combustíveis fósseis no crescimento económico é sempre superior ao impacto das renováveis, o que reflete o nível de maturidade destas tecnologias e o seu grau de investimento face às restantes energias convencionais, como o petróleo e o gás natural. Neste trabalho o incremento de 1% no consumo de energias renováveis gera um crescimento de 0,04% no PIB em comparação aos 0,28% de impacto do aumento de 1% nos combustíveis fósseis.

Na tabela 12 encontram-se expostos os resultados do modelo FMOLS para cada país membro da UE. Estes resultados permitem apurar se a relação entre energias renováveis e o PIB é positiva, negativa ou indiferente.

³ A União Europeia era constituída por 27 países em 2007 ao qual se incluía o Reino Unido, a Croácia ainda não fazia parte.

Tabela 12 - Elasticidades de longo de prazo a partir do modelo FMOLS

Variável	lngfcfpc	lnlfpc	lnnrecpc	lnrecpc
Alemanha	0,5**	0,24***	0,08**	0,02***
Áustria	0,4**	0,18	0,13**	0,16**
Bélgica	0,29**	0,63	0,17**	-0,06**
Bulgária	0,13**	0,43	0,32**	0,04**
Chipre	0,07**	0,18	0,57**	0,08***
Croácia	0,2**	0,33**	0,54**	0,17***
Dinamarca	0,21**	0,8	0,19**	0,09***
Eslováquia	0,27**	0,94	0,04*	-0,02**
Eslovénia	0,23**	0,28**	0,32***	-0,03***
Espanha	0,12*	0,13	0,47*	0,04**
Estónia	0,26**	-0,41	0,32**	0,05**
Finlândia	0,39**	0,98	0,14**	0,06**
França	0,43**	0,09	0,23**	-0,06***
Grécia	0,23**	2,53*	0,14***	0,07***
Hungria	0,18**	0,48	0,36*	-0,04**
Irlanda	0,02**	1,34	0,14	-0,04*
Itália	0,35**	0,6	0,18**	-0,01***
Letónia	0,27**	0,79	0,46*	0,02*
Lituânia	0,3**	0,38	0,32*	-0,02**
Luxemburgo	0,09**	-0,42	0,14**	0,02***
Malta	0,07**	0,11	0,58**	-0,02***
Países Baixos	0,12**	0,02*	0,2**	0,07***
Polónia	0,23**	0,12*	0,31**	0,01***
Portugal	0,08**	0,8	0,41*	0,13**
República Checa	0,5**	1,09	0,34*	0,14*
Roménia	0,16**	-0,02**	0,3**	0,08***
Suécia	0,35**	0,51	0,22***	0,04***

Nota: *** corresponde ao nível de 1%, ** a 5% e * a 10%.

Face aos resultados da tabela 12 pode-se concluir que para o consumo de energias renováveis existe uma elasticidade de longo prazo positiva para a Alemanha (0,02), Áustria (0,16), Bulgária (0,04), Chipre (0,08), Croácia (0,17), Dinamarca (0,09), Espanha (0,04), Estónia

(0,05), Finlândia (0,06), Grécia (0,07), Letónia (0,02), Luxemburgo (0,02), Países Baixos (0,07), Polónia (0,01), Portugal (0,13), República Checa (0,14), Roménia (0,08), Suécia (0,04). Para estes 18 países pode-se concluir que geram um impacto positivo no PIB, por outras palavras produzem crescimento económico. O oposto, isto é, elasticidade de longo prazo negativa entre o consumo de energias renováveis per capita e o PIBpc confirma-se para a Bélgica (-0,06), Eslováquia (-0,02), Eslovénia (-0,03), França (-0,06), Hungria (-0,04), Irlanda (-0,04), Itália (-0,01), Lituânia (-0,02) e Malta (-0,02). Como todos os coeficientes são significativos não existem países com relação ambígua quanto ao impacto do consumo de energias renováveis no PIBpc. Estes resultados estão em linha com os obtidos por Shahbaz et al. (2020) e Bhattacharya et al. (2016), no entanto existem alguns países cujos resultados divergiram face aos obtidos pelos artigos acima citados, caso da Espanha, Eslovénia e Irlanda. É relevante referir que para o caso italiano e francês os resultados obtidos corroboram os resultados de Shahbaz et al. (2020), isto é, valores negativos, contra os valores positivos obtidos por Bhattacharya et al. (2016).

A formação bruta de capital fixo regista um coeficiente positivo e significativo para todos os países pelo que se pode concluir que o investimento beneficia o PIB da UE. Relativamente à força de trabalho regista-se uma elasticidade de longo prazo positiva para a Alemanha (0,24), Croácia (0,33), Eslovénia (0,28), Grécia (2,53), Países Baixos (0,02), Polónia (0,12). No contexto oposto encontra-se a Roménia (-0,02) com um uma elasticidade de longo prazo negativa. Os restantes países da União Europeia não têm um coeficiente significativo para a força de trabalho, pelo que nada se pode concluir. Os países em causa são Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Portugal, República Checa e Suécia.

Por último, a elasticidade de longo prazo do consumo de energias não renováveis per capita é positiva para todos os países da União Europeia, com exceção da Irlanda. O coeficiente obtido para este país não é significativo pelo que o seu impacto é ambíguo. Pode-se assim concluir que o consumo de energias não renováveis contribui positivamente para o crescimento económico. Os resultados acima citados demonstram que a maioria das economias da UE estão a transitar de energias não renováveis para energias renováveis. Esta transição permite cumprir as metas da comissão europeia para a descarbonização e assim assegurar a independência energética das diversas economias europeias.

5. Conclusões

O presente trabalho procurou responder se as energias renováveis têm um impacto positivo ou não no crescimento económico. A literatura sobre o tema, conforme analisado, não é consensual, embora que para a generalidade dos países europeus o impacto seja positivo. É importante realçar que por se tratar de uma tecnologia recente e com custos elevados é natural que a mesma não tenha um impacto positivo para todos os países. No artigo de Shahbaz et al. (2020) é referido o caso do Canadá, país produtor e exportador de petróleo e gás natural. Para este país um investimento em energias renováveis afeta negativamente o PIB, pois os combustíveis fósseis empregam e representam um setor muito importante para esta economia. Pode-se extrapolar este raciocínio para os países com resultado negativo neste estudo. Veja-se por exemplo o caso da França, onde se obteve uma percentagem de -0,06 para o consumo de energias renováveis. É do conhecimento geral que este país é um grande produtor de energia nuclear, pelo que se pode questionar se o investimento em energias renováveis não coloca em causa um setor que emprega e contribui positivamente para a economia francesa. Apesar de tudo, para a maior parte dos países-membros da UE, 18 países, o impacto é positivo, contra 9 países onde a relação é negativa. Relativamente ao consumo de energias não renováveis este é positivo para todos os países da UE o que demonstra que apesar dos esforços para se efetuar uma transição energética profunda este tipo de energias ainda tem um papel preponderante no crescimento económico das economias europeias. É de realçar que os resultados obtidos foram muito inferiores aos obtidos pela literatura sobre o tema, com particular destaque para Shahbaz et al. (2020) e Bhattacharya et al. (2016).

Conforme foi analisado na revisão de literatura, considera-se que a hipótese de crescimento é a mais acertada face aos resultados obtidos, isto é, as energias renováveis contribuem positivamente ou negativamente para o crescimento económico para todos os países-membros da UE. Pode-se ainda concluir que como o impacto é positivo para 18 países deve-se continuar a investir neste tipo de tecnologias por forma a atingir a meta de zero emissões e de limitação do aquecimento global em 1,5 graus preferencialmente. Para os países cuja relação é negativa podem investir em I&D na área das energias renováveis por forma a criar emprego e gerar riqueza para o país, conforme sugere Marques & Fuinhas (2012).

Numa futura investigação sobre este tema é relevante estudar o impacto da guerra na Ucrânia e do corte de abastecimento de gás natural russo e os seus efeitos nas economias europeias. Também é igualmente relevante o estudo dos efeitos do *Repower EU* como resposta à guerra

na Ucrânia.

6. Referências

- Alper, A., & Oguz, O. (2016). The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 60, pp. 953–959). Elsevier Ltd. 10.1016/j.rser.2016.01.123
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660. 10.1016/j.enpol.2009.09.002
- APREN. (n.d.). *APREN - Produção*. Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Retrieved January 18, 2023, from <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao>
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Applied Energy*, 162, 733–741. 10.1016/j.apenergy.2015.10.104
- Birol, F. (2022). The Scramble for Energy - A Call to Clean Energy. *FINANCE & DEVELOPMENT - A Quarterly Publication of the International Monetary Fund*, 59(4). www.imf.org/fandd
- Carton, B., & Natal, J.-M. (2022, Outubro 6). *Atrasos adicionais na adoção de políticas climáticas irão prejudicar o crescimento económico*. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/pt/Blogs/Articles/2022/10/05/further-delaying-climate-policies-will-hurt-economic-growth>
- Ciucci, M. (2022, Setembro). *Energia renovável | Fichas temáticas sobre a União Europeia | Parlamento Europeu*. European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/70/energia-renovavel>
- Commission Staff Working Document. (2008). *The support of electricity from renewable energy sources*. https://ec.europa.eu/energy/climate_actions/doc/2008_res_working_document_en.pdf
- Couture, T., & Gagnon, Y. (2010). An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy Policy*, 38(2), 955–965. 10.1016/j.enpol.2009.10.047

- EE&RE. (2022, Setembro). *Homeowner's Guide to the Federal Tax Credit for Solar Photovoltaics* | Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. <https://www.energy.gov/eere/solar/homeowners-guide-federal-tax-credit-solar-photovoltaics>
- European Commission. (n.d.-a). *O Pacto Ecológico Europeu*. Retirado a 16 de janeiro, 2023, de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pt
- European Commission. (n.d.-b). *Renewable energy targets*. Retirado a 6 de março, 2023, de https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
- European Commission. (2021). *EU energy in figures*. 10.2833/975418
- European Commission. (2022a). *Renewable energy directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
- European Commission. (2022b). *REPowerEU: energia segura, sustentável e a preços acessíveis para a Europa*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_pt#documentos
- European Environment Agency. (2021). *Reflecting on green growth Creating a resilient economy within environmental limits*. 10.2800/00936
- European Parliament, & European Council. (2001, Outubro 27). DIRECTIVE 2001/77/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. *Official Journal of the European Communities*.
- European Parliament, & European Council. (2009, Junho 5). DIRETIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. *Official Journal of the European Union*.
- European Parliament, & European Council. (2018, Dezembro 21). DIRETIVA (UE) 2018/2001 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONS

- ELHO - de 11 de dezembro de 2018 - relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis. *Official Journal of the European Union*.
- Eurostat. (2022). *Environmental tax statistics - Statistics Explained*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Environmental_tax_statistics#Environmental_taxes_in_the_EU
- Fuinhas, J. A., Belucio, M., Santiago, R., & Afonso, T. L. (2019). *Exercícios Introdutórios de Análise Económica de Dados*. Universidade da Beira Interior.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438.
- Guimarães, P. (2021a). *Endogeneity, Instrumental Variables and GMM* [Powerpoint slides]. Departamento de Economia, Universidade do Porto.
- Guimarães, P. (2021b). *Heteroskedasticity and Autocorrelation* [Powerpoint slides]. Departamento de Economia, Universidade do Porto.
- Herring, H. (2006). Energy efficiency - A critical view. *Energy*, 31(1 SPEC. ISS.), 10–20. 10.1016/j.energy.2004.04.055
- Hickel, J., & Kallis, G. (2020). Is Green Growth Possible? *New Political Economy*, 25(4), 469–486. 10.1080/13563467.2019.1598964
- Iberdrola. (n.d.). *Impostos Verdes ou Ambientais: o que são e para que servem?* Retirado a 17 de Janeiro, 2023, de <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/impuestos-verdes-ou-ambientais>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. 10.1016/S0304-4076(03)00092-7
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58–63. 10.1016/j.eneco.2015.01.003
- International Energy Agency. (2022). *World Energy Outlook 2022*. www.iea.org/t&c/
- International Renewable Energy Agency, & Climate Policy Initiative. (2023). *Global landscape of renewable energy finance, 2023*. International Renewable Energy Agency.

- Parrique T., Barth J., Briens F., C. Kerschner, Kraus-Polk A., Kuokkanen A., & Spangenberg, J. H. (2019). *Decoupling Debunked*. www.eeb.org
- Kraft, J., & Kraft, A. (1974). On the Relationship Between Energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 3(2), 401–403.
- le Quéré, C., Korsbakken, J. I., Wilson, C., Tosun, J., Andrew, R., Andres, R. J., Canadell, J. G., Jordan, A., Peters, G. P., & van Vuuren, D. P. (2019). Drivers of declining CO2 emissions in 18 developed economies. In *Nature Climate Change* (Vol. 9, Issue 3, pp. 213–217). Nature Publishing Group. 10.1038/s41558-019-0419-7
- Lopez, L., & Weber, S. (2017). Testing for Granger causality in panel data. In *The Stata Journal* (Vol. 17, Issue 4).
- Marques, A. C., & Fuinhas, J. A. (2012). Is renewable energy effective in promoting growth? *Energy Policy*, 46, 434–442. 10.1016/j.enpol.2012.04.006
- Menegaki, A. N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, 33(2), 257–263. 10.1016/j.eneco.2010.10.004
- Murteira, J., & Castro, V. (2018). *Introdução à Econometria (2ª)*. Edições Almedina, S.A.
- Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., Batzios, A., & Katsarou, A. (2018). Renewable energy and economic growth: Evidence from European countries. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8). 10.3390/su10082626
- OCDE. (n.d.). *Crescimento verde e desenvolvimento sustentável - OCDE*. Organização Para a Economia Cooperação e Desenvolvimento. Retirado a 11 de Setembro, 2023, de <https://www.oecd.org/greengrowth/>
- OFGEM. (n.d.). *Renewables Obligation (RO)*. Office of Gas and Electricity Markets. Retirado a 17 de Janeiro, 2023, from <https://www.ofgem.gov.uk/environmental-and-social-schemes/renewables-obligation-ro>
- Shahbaz, M., Raghutla, C., Chittedi, K. R., Jiao, Z., & Vo, X. V. (2020). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from the renewable energy country attractive index. *Energy*, 207. 10.1016/j.energy.2020.118162

Silva, C., Matias, S., Mafra, C., Sim-Sim, F., Estaqueiro, A., Simões, T., Garcia, P., Santos, L., Sarmiento, A., Raventos, A., Silva, M., Hamawi, S., Laia, C., Fernandes, M., Abreu, C., & Cardoso, A. (n.d.). *RoadMap para as Energias Renováveis Offshore em Portugal*.

Swedish Institute. (2022, Novembro 11). *Energy use in Sweden*.
<https://sweden.se/climate/sustainability/energy-use-in-sweden>

United Nations Environment Programme. (2022). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window — Climate crisis calls for rapid transformation of societies*.
<https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>