



Ana Beatriz de Mateus Cavalheiro

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

O Impacto do Sector Electroprodutor Renovável no Crescimento Económico em Portugal

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadora: Patrícia Fortes, Investigadora Doutorada,
CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research
Co-orientadora: Maria Júlia Seixas, Professora Associada com Agregação,
FCT-NOVA

Júri

Presidente: Professor Doutor Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira
Arguente: Professora Doutora Sara Isabel Azevedo Proença
Vogal: Doutora Patrícia Alexandra Fortes da Silva



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Novembro, 2018

O Impacto do Sector Electroprodutor Renovável no Crescimento Económico em Portugal

Copyright © Ana Beatriz de Mateus Cavalheiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação representa a conclusão de uma etapa que considero ser uma das mais importantes, e de seis anos que não esquecerei. Todavia, não teria sido possível sem a contribuição de várias pessoas e entidades às quais quero deixar o meu agradecimento.

À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, escola e casa que me acolheu nos últimos anos e que me proporcionou inúmeras experiências e momentos fantásticos.

À Professora Doutora Júlia Seixas e à Doutora Patrícia Fortes, minhas orientadoras, que me desafiaram com este tema e estiveram sempre disponíveis para me ajudar até à conclusão deste grande desafio.

Ao Professor Joaquim Pina, cujos ensinamentos, paciência e compreensão foram essenciais na elaboração desta dissertação. Um enorme obrigado pela disponibilidade e atenção constantes para me receber e esclarecer todas as dúvidas.

À TunaMaria por ter preenchido este percurso com a música, as vivências, os ensinamentos e as amizades que levo para a vida. Uma experiência que fará sempre parte de mim. Uma vez Maria, sempre Maria.

Aos colegas de faculdade, agora amigos, por tornarem esta caminhada mais fácil e gratificante, e principalmente, por a terem feito comigo.

Ao Carlos pelo carinho e paciência infinitos. Pelo amor e incentivos constantes e por me aturar todos os dias.

Ao Bóris por ser o melhor companheiro de quatro patas, e por estar sempre presente nos momentos de estudo e trabalho árduo, contribuindo sempre com apoio moral.

À minha família, nomeadamente aos meus pais e avós, pelos valores que me inculcaram, pelos esforços que fizeram para me proporcionar sempre a melhor formação e educação. E, principalmente, por me aconselharem e apoiarem sempre as minhas decisões, e ainda por compreenderem as ausências dos últimos anos. São os grandes exemplos.

Obrigado a todos.

*"Climate change is a global problem with grave implications:
environmental, social, economic, political and for the
distribution of goods. It represents one of the principal
challenges facing humanity in our days."*

- Papa Francisco

RESUMO

Nesta dissertação são utilizados métodos econométricos, nomeadamente métodos auto-regressivos, para estudar a existência de correlação entre o crescimento económico e o sector electroprodutor. Para tal são utilizadas as variáveis **Produto Interno Bruto (PIB)**, produção de electricidade renovável, emissões totais de CO₂ e emprego no sector electroprodutor sendo considerado o intervalo temporal de 1960-2014 e, posteriormente, de 1980-2014. São realizados testes de raiz unitária (teste **Augmented Dickey-Fuller (ADF)**), co-integração (teste de Johansen) e estimados modelos **Vector Auto Regressive (VAR)** e **Vector Error Correction Model (VECM)** que aferem sobre a existência de relações de causalidade e correlação entre as variáveis, respectivamente.

Neste estudo foi possível concluir que o sector electroprodutor renovável tem um impacto positivo no crescimento económico nacional verificando-se a hipótese de crescimento entre estas variáveis. Por oposição, não existe relação de causalidade entre o emprego no sector electroprodutor e o **PIB** verificando-se a hipótese neutra. Desta forma conclui-se que a electricidade renovável contribui em 0.239% para o aumento do **PIB** e as emissões totais de CO₂ em 0.623%.

Posteriormente foi realizada uma previsão de cenários futuros para 2020 e 2030, considerando os cenários de geração de electricidade renovável e emissões de **Gases com Efeito Estufa (GEE)** contemplados no PNAC 2020/2030 e a correlação identificada entre as variáveis. Foi possível determinar que produção de electricidade renovável contribui entre 1.53% a 1.71% e entre 0.67% a 1.05% para a taxa anual de PIB em 2020 e 2030, face a 2017. De acordo com os cenários considerados no PNAC 2020/2030, prevê-se um crescimento económico entre -0.57% e 0.04% para 2020 e -0.87% e 0.18% para 2030, face ao ano de 2017, tendo em consideração o contributo das variáveis produção de electricidade renovável e emissões de CO₂.

Palavras-chave: Crescimento Económico Electricidade Renovável, Emissões de CO₂, Alterações Climáticas, Métodos Econométricos

ABSTRACT

This dissertation uses econometric methods, namely autoregressive methods, to study the existence of a correlation between economic growth and the electric power sector. The used variables were GDP, renewable electricity generation, CO₂ total emissions and the employment in the power generation sector. The time series used were from 1980 to 2014. The statistic tests used were the ADF unit root test, the Johansen cointegration test. The VAR and VECM models were estimated to understand the Granger causality and correlation between the variables, respectively.

This study concludes that, on one hand, the renewable electric power sector has a positive impact on national economic growth verifying the growth hypothesis and, on the other hand, that there is no causal relationship between employment in the electric power sector and GDP, which supports the null hypothesis. Therefore, it can be concluded that renewable electricity increases GDP in 0.239% and the CO₂ total emissions increases GDP in 0.623%.

Then it was possible to forecast scenarios for 2020 and 2030 based on the renewable electricity generation and the GHG emissions scenarios included in PNAC 2020/2030 and in the correlation identified among the variables. It was possible to determine that renewable electricity generation will contribute between 1.53 % to 1.71 % and between 0.67 % to 1.05 % for the annual GDP rate in 2020 and 2030, compared to 2017. According to this scenarios considered in PNAC 2020/2030, it is expected that economic growth increases between -0.57% and 0.04% by 2020 and between -0.87% and 0.18% by 2030 compared to 2017, and considering the contribution of variables renewable electricity generation and CO₂ emissions.

Keywords: Economic Growth, Renewable Electricity, CO₂ Emissions, Climate Changes, Econometric Methods

ÍNDICE

Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
Lista de Símbolos e Abreviaturas	xxi
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Relevância do Tema	1
1.2 Objectivos e Âmbito	4
1.3 Organização da Dissertação	4
2 Revisão de Literatura	7
2.1 A Política Energética Europeia	8
2.2 A Política Energética em Portugal	12
2.3 Casos de Estudo sobre o Impacto do Consumo Renovável no Crescimento Económico	15
3 Metodologia	23
3.1 Conceitos Básicos de Econometria	23
3.2 Metodologia Aplicada	24
3.2.1 Análise Exploratória de Dados	28
3.2.2 Testes de raiz unitária	28
3.2.3 Correlogramas Cruzados	29
3.2.4 Testes de causalidade - <i>Vector Autoregression (VAR)</i>	29
3.2.5 Teste de co-integração	32
3.2.6 Modelo Corrector do Erro - <i>Vector Error Correction Model (VECM)</i>	33
3.2.7 Previsões de Cenários	33
4 Resultados e Discussão	35
4.1 Análise Exploratória de Dados	35
4.2 Resultados Obtidos	41
4.2.1 Testes de raiz unitária (1960-2014)	41
4.2.2 Correlogramas Cruzados (1960-2014)	42
4.2.3 Testes de causalidade (1960-2014)	46
4.2.4 Testes de raiz unitária (1980-2014)	48
4.2.5 Correlogramas Cruzados (1980-2014)	49
4.2.6 Testes de causalidade (1980-2014)	52

4.2.7	Testes de co-integração (1980-2014)	55
4.2.8	Modelo Corrector do Erro - <i>Vector Error Correction Model (VECM)</i>	56
4.3	Previsão de Cenários	56
5	Conclusão	61
5.1	Conclusões	61
5.2	Considerações Finais	63
	Bibliografia	65
I	Anexo 1 - Resultados obtidos no teste ADF considerando 2 desfasamentos e um intervalo de tempo de 1960-2014	73
II	Anexo 2 - Resultados obtidos no teste ADF considerando 2 desfasamentos e a série temporal 1980-2014	75

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Evolução do consumo bruto de energia na União Europeia (UE). Fonte: Eurostat (2018a).	10
2.2	Percentagem do consumo bruto de energia na UE. Fonte: Eurostat (2018b).	11
3.1	Fluxograma síntese da metodologia utilizada.	27
4.1	Evolução do PIB e das emissões de CO ₂ ao longo do tempo. Fonte: Pordata (2018b) e World Bank (2018a)	36
4.2	Índice de Produtibilidade Hidroeléctrica. Fonte: REN (2018)	36
4.3	Evolução da produção de electricidade e do PIB ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a), IEA (2016b) e Pordata (2018b)	37
4.4	Evolução do PIB e da produção bruta de electricidade renovável ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a) e Pordata (2018b)	38
4.5	Produção bruta de energia renovável e não renovável ao longo do tempo. Fonte: IEA (2018a)	38
4.6	Produção bruta de energia renovável, por fonte de energia, ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a)	39
4.7	Evolução da produção bruta de energia renovável e do emprego no sector da produção e distribuição de electricidade, gás, vapor e ar frio. Banco de Portugal (2018), IEA (2016a) e Pordata (2018a)	40
4.8	Evolução da produção de electricidade renovável e fóssil e das emissões de CO ₂ ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a), IEA (2016b) e World Bank (2018a)	41
4.9	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e da Produção de Electricidade Renovável.	43
4.10	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e das Emissões de CO ₂	44
4.11	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e das Emissões de CO ₂	45
4.12	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e o Emprego no Sector Electroprodutor.	45
4.13	Correlograma cruzados entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor.	46
4.14	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e da Produção de Electricidade Renovável, considerando a série 1980-2014.	49
4.15	Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e das Emissões de CO ₂	50

4.16 Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e das Emissões de CO ₂	51
4.17 Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e o Emprego no Sector Electroprodutor.	51
4.18 Correlograma cruzados entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor.	52

ÍNDICE DE TABELAS

2.1	Casos de estudo seleccionados sobre o estudo da relação crescimento económico e consumo renovável utilizando métodos econométricos.	18
3.1	Resumo das variáveis utilizadas e a sua caracterização.	25
4.1	Resultados obtidos no teste ADF (valores de <i>p-value</i>) considerando as variáveis transformadas (em nível <i>ln</i>), as respectivas primeiras diferenças e 1 desfaseamento.	42
4.2	Resultados obtidos nos testes de auto-correlação dos resíduos dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.	47
4.3	Relações de causalidade do conjunto B face ao PIB.	47
4.4	Relações de causalidade do conjunto B face ao Emprego no Sector Electroprodutor.	47
4.5	Resultados obtidos no teste de normalidade dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.	48
4.6	Resultados obtidos no teste ADF (valores de <i>p-value</i>) considerando as variáveis transformadas (em nível <i>ln</i>), as respectivas primeiras diferenças e 1 desfaseamento.	48
4.7	Resultados obtidos nos testes de auto-correlação dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1980-2014.	52
4.8	Relações de causalidade do conjunto A face ao PIB.	53
4.9	Relações de causalidade do conjunto A face às emissões de CO ₂	53
4.10	Relações de causalidade do conjunto B face ao PIB.	54
4.11	Relações de causalidade do conjunto B face ao Emprego no Sector Electroprodutor.	54
4.12	Síntese das relações de causalidade encontradas.	55
4.13	Resultados obtidos no teste de normalidade dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.	55
4.14	Resultados obtidos, em valores de <i>p-value</i> , no teste de Johansen para o conjunto de variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emissões de CO ₂	55
4.15	Previsões de cenários para 2020 e 2030 correspondentes à produção de electricidade renovável e respectivo crescimento do PIB.	58
I.1	Resultados obtidos no teste ADF considerando as variáveis em nível (<i>ln</i>), as respectivas primeiras diferenças e 2 defasamentos.	73

II.1 Resultados obtidos no teste ADF considerando as variáveis em nível (ln), as respectivas primeiras diferenças e 2 defasamentos.	75
---	----

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- CO₂** Dióxido de Carbono.
- ADF** Augmented Dickey-Fuller.
- AIC** Critério de Informação de Akaike.
- CAE** Classificação Portuguesa das Actividades Económicas.
- CE** Comissão Europeia.
- COP** Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas.
- DGEG** Direcção-Geral da Energia e Geologia.
- DOLS** Dynamic Ordinary Least Squares.
- EDP** Electricidade de Portugal.
- ERSE** Entidade Reguladora do Sector Eléctrico.
- EUA** Estados Unidos da América.
- FER** Fontes de Energia Renováveis.
- FMOLS** Fully Modified Ordinary Least Squares.
- GEE** Gases com Efeito Estufa.
- IPH** Índice de Produtibilidade Hídrica.
- ISEW** Index of Sustainable Economic Welfare.
- KPSS** Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin.
- OCDE** Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico.
- OLS** Ordinary Least Squares.
- PIB** Produto Interno Bruto.
- PNAC** Plano Nacional para as Alterações Climáticas.
- PNAEE** Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética.
- SEI** Sistema Eléctrico Independente.

SEN Sistema Eléctrico Nacional.

SENV Sistema Eléctrico não Vinculado.

SEP Sistema Eléctrico de Serviço Público.

SVECM Structural Vector Error Correction Model.

UE União Europeia.

UNFCCC Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas.

VAR Vector Auto Regressive.

VECM Vector Error Correction Model.

INTRODUÇÃO

"To truly transform our economy, protect our security, and save our planet from the ravages of climate change, we need to ultimately make clean, renewable energy the profitable kind of energy." – Barack Obama

1.1 Enquadramento e Relevância do Tema

A energia tem tido, desde sempre, um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. Na antiguidade, os cursos de água e a acção do vento eram fontes de energia privilegiadas utilizadas no processamento dos alimentos, como a moagem de farinha ou a produção de azeite, apoiando uma agricultura mais intensiva (Bithas e Kalimeris, 2016). Com a revolução industrial e o aparecimento da máquina a vapor no final do século XVIII, surge uma nova fonte de energia para suprimir as crescentes necessidades energéticas – o carvão. As duas grandes guerras mundiais e surgimento do motor de combustão interna contribuíram posteriormente para o consumo exponencial de petróleo, que se tornou a maior fonte de energia primária do planeta do século XX (Fouquet, 2015).

Nas últimas décadas tem ocorrido uma dissociação entre o consumo de energia fóssil e o crescimento económico devido a alterações estruturais na economia global, ao aumento da eficiência energética e à substituição de fósseis por outras fontes de energia. Ainda assim, por mais de um século, a energia fóssil barata e abundante apoiou a industrialização de inúmeros países, contribuindo para uma melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes. As tendências históricas mostram que o desenvolvimento económico está profundamente associado ao consumo de energia (até então essencialmente fóssil), com os países desenvolvidos a apresentar maiores valores de consumo de energia *per capita* (Rocha, 2013).

Todavia, sabe-se actualmente que, o consumo de combustíveis fósseis tem tido efeitos nefastos no planeta como sejam a depleção dos recursos naturais, poluição do ar e águas e a emissão de GEE responsáveis pelo aquecimento global e originando um dos maiores flagelos ambientais nos nossos dias – as alterações climáticas. As alterações climáticas afectam os sistemas naturais comprometendo o seu normal funcionamento (IPCC, 2014a),

causando entre outros impactes, o degelo dos glaciares e eventos climáticos extremos como cheias e secas.

Desde a revolução industrial que o consumo de energia fóssil mundial aumentou mais de 20% (Ritchie e Roser, 2018) contribuindo para um aumento de cerca de 40% das emissões de GEE (IPCC, 2014b). Em Julho de 2017, a concentração global de Dióxido de Carbono (CO₂) na atmosfera era cerca de 404 ppm (NOAA, 2017). Este valor encontra-se perigosamente próximo dos 450 ppm considerados como referência para manter a temperatura média da superfície do planeta abaixo dos 2°C relativamente a valores pré-industriais, o qual é considerado pela comunidade internacional como o aumento máximo da temperatura para prevenir graves consequências nos mais variados sistemas naturais e sociais (IPCC, 2014a). A produção de energia, onde se inclui a geração de electricidade é também o sector económico com maior peso nas emissões de CO₂, sendo responsável por mais de 25% das emissões mundiais (IPCC, 2014b) e um terço das emissões da UE (Flues et al., 2014).

Adicionalmente refira-se que recursos fósseis não estão igualmente distribuídos por todas as regiões do globo. Este facto, leva a que os países importadores estejam sujeitos ao risco associado à volatilidade dos preços e a problemas de segurança e vulnerabilidade no abastecimento, nomeadamente devido a situações de instabilidades política em muitos dos países exportadores (Rocha, 2013).

Tomando o caso da Europa por exemplo, num cenário (*business as usual*), mais de 70% do petróleo e gás da UE seriam importados (Maltby, 2013). As reservas de combustíveis fósseis europeias, considerando este cenário, não seriam capazes de suprir as necessidades energéticas a longo prazo (Sencar et al., 2014). As reservas europeias de combustíveis fósseis, considerando este cenário, apenas seriam capazes de suprir as necessidades energéticas a curto prazo. Todos estes factores contribuem para que a continuidade do consumo de energia fóssil não seja sustentável quer do ponto de vista ambiental, quer económico e social, levando a que muito países tenham vindo a procurar fontes de energia alternativas, endógenas e limpas i.e., Fontes de Energia Renováveis (FER), as quais podem ter um papel significativo na redução da dependência energética e na redução das emissões de gases (Afonso et al., 2017).

Desde 2016 que o consumo de energia renovável aumentou 18.2%, sendo o sector electroprodutor aquele em que se verifica o maior peso destas fontes de energia. A energia hídrica, eólica e solar fotovoltaica representam as fontes de energia renovável mais representativas contabilizando 25% do total de electricidade produzida a nível mundial. Na Europa, a electricidade renovável tem um peso ainda mais significativo representando 29.6% do total (REN21, 2018).

Diversos estudos mostram que as energias renováveis levam à criação de mais postos de trabalho que os combustíveis fósseis contribuindo igualmente para um crescimento económico. Este facto ocorre porque a produção eléctrica a partir de renováveis tem uma elevada intensidade do factor produtivo trabalho, contrariamente ao sector da energia eléctrica convencional (Markandya et al., 2016). Todavia este facto não é totalmente

consensual. O crescimento das energias renováveis nas últimas duas décadas deve-se essencialmente aos incentivos e políticas de suporte, como os subsídios contribuindo para a diminuição do risco dos investidores, que surgem no mercado externo. Alguns autores argumentam que os custos associados às energias renováveis, nomeadamente derivados do seu desenvolvimento tecnológico e custo de implementação, bem como os incentivos financeiros necessários ao seu incentivo podem ser contra-produtivos para a economia e emprego e justificam o pouco interesse de alguns países em apostar nestas novas fontes energéticas (Böhringer et al., 2013; Kanellakis et al., 2013).

Em Portugal o consumo de energia renovável tem vindo a crescer aumentando de 19.5% do consumo de energia final em 2005 até 28.5% actualmente (Eurostat, 2018c). No que concerne à electricidade renovável, esta aumentou de 28% (IEA, 2018b) em 1995 até aos 54% nos dias de hoje (REN21, 2018). Muito deste crescimento deve-se à implementação de tarifas *feed-in* que representam um incentivo económico à produção de electricidade renovável (Kanellakis et al., 2013). Em 1988, através do Decreto-Lei 189/88, Portugal implementou estas tarifas, que constituem uma taxa fixa garantida por unidade de electricidade renovável injectada na rede (Proença e St. Aubyn, 2013).

Em 2013, as energias renováveis representavam 2 730 M€ em PIB directo e indirecto, representando 40 727 empregos (directos e indirectos) (APREN, 2014). A tecnologia solar foi a que gerou mais emprego por capacidade instalada em 2010 e 2013, cerca de 12.1 empregos por MW. De acordo com o Estudo do Impacto Macroeconómico do Sector da Electricidade de Origem Renovável em Portugal (Jesus, 2011) até 2030, um aumento de 59% da electricidade renovável face a 2013, será capaz de gerar mais 1 612 M€ em PIB e 26 mil empregos. Este aumento das renováveis também será capaz de reduzir a dependência energética de 71.7%, valor de 2013, para 68.1% em 2030 e reduzir as emissões de CO₂ em 2.1 Mt.

Actualmente, o principal documento político com vista à redução de emissões de GEE é o Acordo de Paris. Este é um acordo de nível mundial que incita cada país a estabelecer as suas metas, nomeadamente de redução de emissões, e assim fortalecer a sua resposta às alterações climáticas (UNFCCC, 2018c). Neste sentido, o Acordo de Paris é actualmente o principal promotor do desenvolvimento das energias renováveis.

Ainda que as renováveis se apresentem como uma solução vantajosa para a mitigação das alterações climáticas, para a diminuição da dependência energética e capazes de gerar riqueza bruta (i.e. não contabilizando as perdas/ganhos associados à diminuição dos combustíveis fósseis), serão as renováveis também passíveis de induzir o crescimento económico? Terão as fontes de energia renovável vindo a contribuir positivamente para a economia Portuguesa, nomeadamente para o aumento do emprego? Estudos recentes a nível internacional incidem sobre esta temática, no entanto, as suas conclusões estão longe de ser consensuais (Alper e Oguz, 2013).

1.2 Objectivos e Âmbito

Actualmente os decisores políticos enfrentam o desafio de decidir sobre novas políticas e estratégias para um sistema energético sustentável, em todas as suas esferas: económica, ambiental e social, ou seja, um sistema energético acessível, seguro e de baixo carbono. As energias renováveis têm sido apontadas como uma solução para um sistema energético sustentável e diversos incentivos têm vindo a ser implementados de modo a fomentar o seu crescimento. Todavia, é importante avaliar quais são de facto os benefícios e custos associados à evolução das energias renováveis.

Neste sentido, a presente dissertação tem como objectivo avaliar o impacto das energias renováveis no desenvolvimento económico de Portugal. Face à sua relevância serão apenas consideradas as energias renováveis associadas à geração de electricidade e consumidas de forma indirecta pelos sectores de uso final através do consumo de electricidade renovável. Neste sentido, são excluídas da análise o consumo de biomassa, biocombustíveis nos sectores dos transportes, indústrias e edifícios.

A análise desenvolvida ao longo desta tese pretende responder, especificamente, às questões enunciadas de seguida:

- i) Qual o impacto da produção de electricidade renovável no crescimento económico nacional?
- ii) Qual o impacto da produção de electricidade renovável nas emissões de CO₂ nacionais?
- iii) Qual o impacto da produção de electricidade renovável no emprego do sector?

Para responder a estas questões foram utilizados métodos econométricos a partir dos quais é possível estabelecer relações de causalidade entre as variáveis em análise, tendo sido considerado um período de 35 anos: de 1980 a 2014.

1.3 Organização da Dissertação

A presente dissertação é constituída por 5 capítulos, estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1: Capítulo introdutório, onde se apresenta a contextualização do tema em análise. Neste capítulo são também apresentados os principais objectivos do trabalho e a estrutura da dissertação.

Capítulo 2: Neste capítulo é apresentada a relevância do tema em estudo, uma breve exposição das políticas energéticas europeia e nacional e ainda uma revisão de literatura referente à análise da relação entre o consumo de energia e desenvolvimento económico, com foco no consumo de energias renováveis e em métodos econométricos. Neste sentido, são apresentados diversos casos de estudos, metodologias utilizadas e respectivas conclusões obtidas.

Capítulo 3: O capítulo 3 introduz alguns conceitos fundamentais utilizados na fase empírica deste estudo. Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada na presente dissertação.

Capítulo 4: Este capítulo compila os resultados obtidos a partir da metodologia exposta anteriormente e apresenta a discussão dos mesmos.

Capítulo 5: Capítulo referente às principais conclusões do estudo. Neste capítulo incluem-se ainda limitações encontradas no estudo e tópicos de trabalho futuro decorrentes da presente dissertação.

REVISÃO DE LITERATURA

A análise da relação entre o consumo de energia e o crescimento económico de modo a avaliar a relação entre as duas variáveis tem vindo a ser efectuada desde 1978. Kraft, John Kraft (1978) foram os primeiros autores a demonstrar através de métodos econométricos que existe uma relação de causalidade entre o rendimento e o consumo de energia nos [Estados Unidos da América \(EUA\)](#), concluindo que existe uma forte relação estatística entre estas duas variáveis. Os seus estudos confirmaram a relação causal unidireccional do rendimento para a produção de energia, i.e., o nível da actividade económica poderá influenciar o consumo energético, no entanto, a relação inversa não se verifica. Os autores sugeriam assim, que as políticas de conservação de energia são viáveis, não prejudicando o crescimento económico.

Posteriormente, outros autores tais como Apergis e Payne (2010b), Apergis e Payne (2010a) e Dogan (2015) abordaram o tema verificando que o consumo energético contribui para o crescimento económico, na maior parte dos casos estudados. Mais recentemente, a crescente preocupação com as alterações climáticas e a forte relação entre energia e as emissões de [GEE](#) contribuíram para um redireccionamento das políticas energéticas no sentido das energias renováveis. Estas políticas têm contribuído para que o consumo de energia renovável em detrimento de energia fóssil ganhe cada vez mais expressão, levando a que nos últimos anos diversos autores, designadamente Koçak e Şarkgüneşi (2017) e Furuoka (2017), se tenham vindo a debruçar sobre a relação entre o consumo de energia renovável e o crescimento económico. Os seus estudos mostram que, embora as conclusões obtidas estejam muito dependentes das características de cada caso de estudo, é possível mostrar que o consumo de electricidade renovável afecta positivamente o crescimento económico.

O presente capítulo apresenta assim uma revisão de vários estudos que utilizaram métodos econométricos para estudar a relação entre o crescimento económico e o desenvolvimento de renováveis, expondo alguns métodos e hipóteses utilizados, bem como as principais conclusões obtidas. Previamente, apresenta-se sumariamente as políticas energéticas europeia e nacional, mostrando a relevância da energia renovável no consumo

energético nas últimas décadas e o seu papel para o futuro.

2.1 A Política Energética Europeia

A crescente problemática das alterações climáticas e o facto dos países Europeus apresentarem uma elevada dependência energética levou a UE a delinear o objectivo de se tornar numa economia de baixo carbono garantindo segurança e sustentabilidade na produção, abastecimento e consumo de energia (Comissão Europeia, 2013).

Quando os efeitos da acção antrópica no ambiente e as alterações climáticas se tornaram evidentes, a UE organizou aquela que seria a primeira Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (COP) em 1995, em Berlim. Esta conferência seria, posteriormente, realizada anualmente desde então (as chamadas COP) (UNFCCC, 2018a)). Contudo, já em 1987, tinha sido elaborado o Protocolo de Montreal, onde é reconhecida a necessidade de limitar a emissão de substâncias que empobrecem a camada do ozono (APA, 2018c). Passados dez anos, em 1997, é elaborado um novo acordo internacional - o Protocolo de Quioto, onde são estipuladas metas de redução das emissões de GEE tendo em conta as características de cada país envolvido (APA, 2018d).

Ao longo dos anos de 1970, 1980, 1990 e 2000 decorreram também conferências internacionais dedicadas a questões ambientais, as Conferências das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, nomeadamente (DGE, 2018): i) a primeira em 1972, a Conferência de Estocolmo, onde se tornou clara a necessidade de se estabelecerem princípios universais comuns que traduzissem o equilíbrio entre os povos, as suas actividades, o ambiente e a degradação que se fazia sentir; ii) a Conferência do Rio, em 1992, também conhecida como ECO-92, a segunda grande conferência internacional que reuniu 178 países e foram debatidos temas como as alterações climáticas e a biodiversidade; iii) a Conferência de Joanesburgo, em 2002, também conhecida como Rio +10, que teve como objectivo implementar directrizes estabelecidas na conferência anterior, nomeadamente em temas como as alterações climáticas e o nível de pobreza das populações; iv) por fim, a Conferência do Rio (Rio +20), em 2012, com a renovação do compromisso para o desenvolvimento sustentável.

Assim, surgem as políticas energéticas tanto à escala nacional como europeia. No caso da política energética europeia, esta promove o funcionamento eficaz do mercado da energia, a interconexão das redes energéticas e a eficiência energética. Estas políticas incidem em várias fontes de energia: fósseis, nuclear e renováveis (União Europeia, 2017). A eficiência energética é uma matéria muito relevante no âmbito das políticas energéticas e designada como o método economicamente mais eficaz para a redução de emissões, a melhoria da segurança energética e a competitividade no sector da energia pois torna o consumo de energia comportável para os consumidores enquanto se cria emprego (União Europeia, 2018). É possível identificar documentos que incidem sobre o domínio da energia, como é o caso das directivas. Podem salientar-se algumas directivas europeias como

(DGEG, 2017): i) a Directiva 2001/77/CE que promove a produção de electricidade a partir de fontes renováveis no mercado interno de electricidade; ii) a Directiva 2003/30/CE relativa aos transportes, que promove a utilização de biocombustíveis ou outros combustíveis renováveis no sector dos transportes; iii) e a Directiva 2009/28/CE que ratifica a Directiva 2001/77/CE mencionada anteriormente, promovendo a promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis.

No fim do século XX a exploração de fontes de energia renováveis na União Europeia era desigual e insuficiente, contribuindo em menos de 6% para o consumo interno bruto da UE. Contudo estas fontes eram abundantes no continente e possuíam já um potencial económico significativo (Comissão Europeia, 1997). Em Junho de 2010 o Conselho Europeu aprova a Estratégia Europa 2020 que determina os objectivos da UE em matéria de clima e energia para um crescimento inteligente e sustentável (Comissão Europeia, 2013). Para que os objectivos determinados sejam alcançados são estabelecidas algumas prioridades:

- i) tornar o consumo energético mais eficiente ao nível dos edifícios, dos produtos e dos transportes. Sendo que, para tal, será necessário investir na renovação dos edifícios públicos e em sistemas de rotulagem energética;
- ii) incluir países fornecedores externos no mercado interno da energia, integrando-os na Comunidade da Energia;
- iii) consolidar o mercado interno da energia, tornando livre a circulação de energia na UE, através de linhas de transmissão, terminais ou outras infra-estruturas;
- iv) proteger o direito dos consumidores permitindo-lhes a mudança de fornecedores e monitorizando o uso de energia;
- v) alcançar elevados padrões de segurança no sector energético;
- vi) implementar o Plano Estratégico de Tecnologia Energética (Plano SET) com o intuito de acelerar o desenvolvimento e implantação de tecnologias de baixo carbono.

A assinatura do Acordo de Paris em 2015 marca a adopção do primeiro acordo mundial para o combate às alterações climáticas em que todas as partes participantes combinam esforços para atingir objectivos ambiciosos. O Acordo de Paris pretende reduzir as emissões de GEE e combater o aumento da temperatura média global através da descarbonização das economias mundiais (APA, 2018a). Até à data, o Acordo de Paris foi ratificado por 179 das 197 partes presentes na Convenção (UNFCCC, 2018b). A União Europeia definiu objectivos energéticos e climáticos a serem cumpridos até aos anos 2020, 2030 e 2050. Assim, as metas para o ano de 2020 são os seguintes (União Europeia, 2018): i) 20% de redução nas emissões de GEE relativamente aos níveis de emissões de 1990; ii) 20% da energia obtida deve ser produzida a partir de FER; iii) 20% de melhoria da eficiência energética.

Para o ano de 2030 estabelece-se (União Europeia, 2018): i) 40% de redução nas emissões de GEE; ii) 27% da energia produzida na UE deve ser obtida a partir de FER; iii) aumento de 27-30% na eficiência energética; iv) 15% de transferência eléctrica, permitindo que a electricidade produzida na UE possa ser transferida para outros países da UE.

Por fim, para 2050 aponta-se 80-95% de redução das emissões de GEE comparativamente ao nível de emissões de 1990 (União Europeia, 2018).

Como complemento às medidas já estabelecidas a UE elaborou também um Roteiro para a Energia 2050. Este roteiro consiste numa análise prática e objectiva onde, considerando diferentes cenários, é possível projectar o cumprimento das metas estabelecidas anteriormente. O Roteiro para a Energia 2050 adianta ainda que, cumprindo as metas europeias estabelecidas, é possível atingir um sistema energético seguro, competitivo e descarbonizado. Neste roteiro a electricidade terá um papel fulcral uma vez que, uma maior capacidade de resposta às necessidades levará à descarbonização dos transportes e do aquecimento e arrefecimento.

A competitividade no mercado das tecnologias energéticas é um dos pontos de evolução contínua mais significativos identificado nas políticas energéticas e tem vindo a aumentar continuamente. Em 2009 cerca de 62% da nova capacidade instalada de produção de electricidade na UE advinha de fontes renováveis, nomeadamente eólica e solar. Actualmente 45% da produção de electricidade na UE provém de fontes hipocarbónicas (Comissão Europeia, 2013).

A figura 2.1 mostra a evolução do consumo energético bruto na UE desde 1990 até 2016. Em 1990 mais de 600 000 ktoe do total de energia consumida provinham de combustíveis fósseis, face aos menos de 100 000 ktoe que provinham de FER. O contributo das energias renováveis começa a aumentar a partir de 2004, representando actualmente cerca de 200 000 ktoe do consumo total.

Gross inland energy consumption by fuel, EU-28, 1990-2016

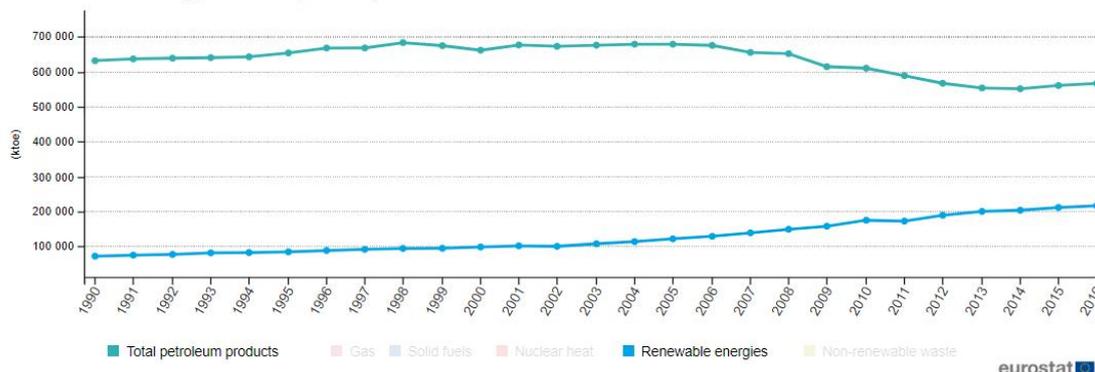


Figura 2.1: Evolução do consumo bruto de energia na UE. Fonte: Eurostat (2018a).

Em 2016, Portugal ocupava o sétimo lugar dos países da UE com maior percentagem de consumo de energia renováveis face ao total de energia consumida, encontrando-se acima

da média dos países europeus (Figura 2.2). Ainda assim, a meta dos 30% de consumo renovável a que se propõe para 2020 ainda não foi alcançada.

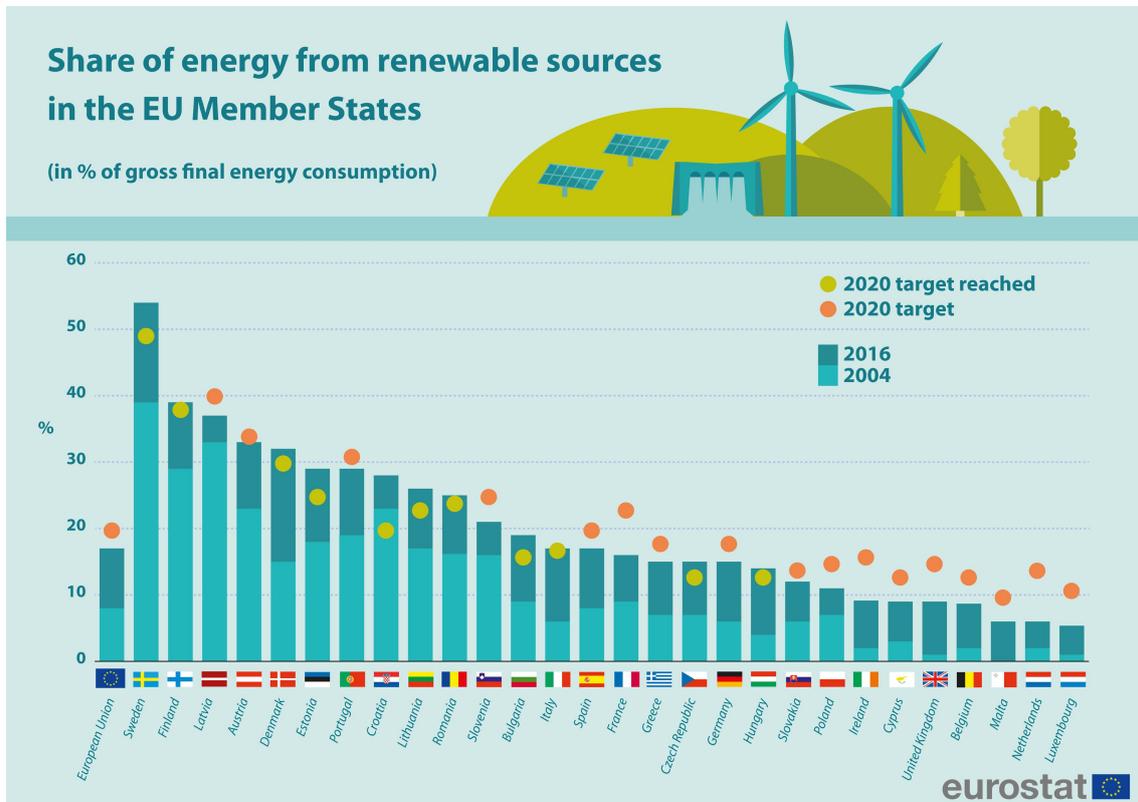


Figura 2.2: Percentagem do consumo bruto de energia na UE. Fonte: Eurostat (2018b).

A produção e consumo da energia renovável é significativa para a economia, para o ambiente e para as políticas energéticas (Alper e Oguz, 2013). Sendo a política energética um instrumento fundamental para atingir um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo nomeadamente no sector industrial, pretende-se que esta foque todos os estágios da cadeia de valor. Assim, a política energética promove que a produção de electricidade provenha maioritariamente de fontes hipocarbónicas até ao início de 2020, privilegiando as energias renováveis (Comissão Europeia, 2013). Desta forma a política energética europeia apresenta três objectivos principais:

- i) a segurança de aprovisionamento de energia;
- ii) a competitividade do mercado energético;
- iii) a sustentabilidade do abastecimento energético.

A Comissão Europeia lança assim as bases para que o abastecimento energético dos estados-membros seja seguro, acessível e sustentável tanto para os cidadãos como para as empresas. Igualmente, implementa-se um mercado livre dentro das fronteiras da UE. Em

concordância, o desenvolvimento tecnológico no sector, as medidas de eficiência energética e a renovação de infra-estruturas irão contribuir para a criação de novos empregos e para a promoção do crescimento económico e das exportações.

Em Novembro de 2016, a Comissão Europeia elaborou aquele que é o mais recente documento de política energética europeia - ("*Clean Energy for all Europeans*"), que define três objectivos principais fundamentais (Comissão Europeia, 2016a): i) priorizar a eficiência energética; ii) dar preferência às energias renováveis com fontes de energia; iii) oferecer um acordo justo aos consumidores. Com este documento a [Comissão Europeia \(CE\)](#) pretende promover o consumo de energia limpo e sustentável para todos, bem como promover o investimento nas tecnologias renováveis criando emprego e melhorando a qualidade de vida dos cidadãos. As energias renováveis tomam um papel fundamental, sendo um dos três pilares do desenvolvimento energético da Europa, designadamente na inovação tecnológica e consequente criação de emprego no sector das energias renováveis e redução das emissões de [GEE](#).

2.2 A Política Energética em Portugal

A história da política energética nacional da era moderna começou com a electrificação nacional promulgada a 26 de Dezembro de 1944 pela Lei n.º 2002. Passados 31 anos, o Decreto-Lei n.º 205-G/75 de 16 de Abril de 1975 nacionaliza 14 sociedades exploradoras do serviço público de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica com o objectivo de reorganizar o sector eléctrico nacional. Até então o sector eléctrico nacional era abastecido por um conjunto de iniciativas privadas, entre elas sociedades, companhias e empresas eléctricas e hidro-eléctricas.

Em 1976, segundo o Decreto-Lei n.º 502/76 de 30 de Junho de 1976 é criada uma empresa pública, a [Electricidade de Portugal \(EDP\)](#), tendo como principal objectivo o estabelecimento e a exploração do serviço público de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica no território continental, promovendo e satisfazendo as exigências de desenvolvimento social e económico da população. Com a criação desta empresa pública pretendia-se alargar o abastecimento de energia eléctrica a populações que ainda não tinham acesso a electricidade (Martins, 1983).

Numa altura em que a dependência energética do país era crescente e ocorriam choques petrolíferos, o Governo Português começou a apostar num aproveitamento optimizado dos recursos energéticos endógenos como um vector necessário ao desenvolvimento e progresso económico. No Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio de 1988 é decretado que "A actividade de produção de energia eléctrica pode ser exercida por pessoas singulares ou colectivas, de direito público ou privado, independentemente da forma jurídica que assumam, estando unicamente sujeita ao cumprimento das normas técnicas e de segurança previstas...". Este Decreto-lei promovia assim o incremento das energias renováveis, a utilização de combustíveis nacionais e a co-geração. No final dos anos 80 mais de 82%

da energia consumida era importada e os combustíveis fósseis contabilizavam mais de 82% do total do consumo de energia (World Bank, 2018d).

Até à década de 90, Portugal não possuía ainda um sector eléctrico consistente e eficiente e o objectivo de electrificação nacional ainda não havia sido cumprido. O total do consumo *per capita* de electricidade não passava dos 2.4 MWh/*per capita* por oposição aos 5.8 e 6.8 MWh/*per capita* observados em França e na Alemanha à época (World Bank, 2018b). Com efeito, pelo Decreto-Lei n.º 7/91 de 8 de Janeiro de 1991 do Ministério da Indústria e Energia, a EDP tornou-se numa sociedade anónima de capitais exclusivamente públicos e portanto, uma pessoa colectiva de direito privado. É também nesta década que o Sistema Eléctrico Nacional (SEN) sofreu uma nova re-estruturação passou a dividir-se em dois sub-sistemas principais: o Sistema Eléctrico de Serviço Público (SEP) e o Sistema Eléctrico não Vinculado (SENV), organizados numa óptica de prestação de serviço público e numa lógica de mercado, respectivamente. Como consequência desta reorganização é criada, pelo Decreto-Lei n.º 187/95 de 27 de Julho de 1995, a Entidade Reguladora do Sector Eléctrico (ERSE), com a finalidade de regular o SEP e moderar o relacionamento entre os dois sistemas, SEP e SENV.

Em 1994 foi lançado o Programa Energético de 1994 que tinha como objectivos i) diminuir a dependência energética; ii) reduzir o impacte ambiental do uso e produção de energia; iii) reduzir a factura energética e iv) promover a conservação e eficiência energética. Para tal, o Programa previa medidas específicas de financiamento para a introdução do gás natural em Portugal, o qual ocorreu em 1997; aumentar o uso de fontes renováveis e promover a eficiência e conservação de energia (designadamente subvenções para auditorias energéticas nos sectores dos serviços e transportes, estudos de viabilidade, e investimentos em eficiência energética).

Em 1995 o Decreto-Lei n.º 313/95 de 24 de Novembro de 1995, foi criado para regular a actividade de produção de energia eléctrica no Sistema Eléctrico Independente (SEI) que utiliza recursos renováveis, combustíveis nacionais e resíduos industriais, agrícolas ou urbanos como fonte de energia primária. De facto, excluindo a hidroelectricidade, nos anos 90 e até meados dos anos 2000, a electricidade gerada a partir de fontes renováveis era inferior a 5% (World Bank, 2018c).

Os anos 90 foram de grandes mudanças para o sector energético nacional, nomeadamente devido às alterações administrativas que sofreu o sector eléctrico. Surgiu então um mercado interno da energia e, por consequência, foram adoptadas directivas europeias com vista à liberalização do sector energético. A década de 90 foi também marcada pela crescente preocupação com questões ambientais. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC) e o Protocolo de Quioto, ratificado por Portugal em Junho de 1993 (Decreto-Lei n.º 20/93, de 21 de Junho) e aprovado em Março de 2002 (Decreto-Lei n.º 7/2002, de 5 de Março), traçaram objectivos em matéria da defesa do ambiente, políticas energética e ambiental e nomeadamente, na limitação das emissões de GEE.

Em 2002, é apresentada para discussão pública a primeira versão do Plano Nacional

para as Alterações Climáticas (PNAC). O PNAC estabelecia um conjunto de políticas, medidas e instrumentos para a mitigação das emissões atmosféricas nacionais. Com a implementação destas medidas nos diversos sectores de actividade, esperava-se não aumentar as emissões nacionais no período 2008-2012 em mais de 27% face às emissões de 1990, as quais contabilizavam 61.1 Mt (incluindo alterações do uso do solo e florestas). De acordo com o PNAC, para atingir essa meta Portugal teria que reduzir as suas emissões em cerca de 8.6 a 12.6 Mt CO₂e, comparativamente a um cenário de referência.

De facto, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003, o governo português definiu os principais objectivos da política energética nacional, apoiada por três eixos estratégicos:

- i) assegurar a segurança do abastecimento;
- ii) fomentar o desenvolvimento sustentável;
- iii) promover a competitividade nacional.

E à semelhança de outros documentos europeus, tinha como principais objectivos: i) liberalização do mercado; ii) redução da intensidade energética no produto; iii) redução da factura energética; iv) melhoria da qualidade do serviço; v) segurança do aprovisionamento e do abastecimento; vi) diversificação das fontes e aproveitamento dos recursos endógenos; vii) minimização do impacte ambiental; viii) contribuição para o reforço da produtividade da economia nacional.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 171/2004 de 29 de Novembro, aprova o Programa de Actuação para Reduzir a Dependência de Portugal face ao Petróleo, estabelecendo algumas medidas com o intuito de aumentar significativamente a produção de electricidade a partir de fontes renováveis, as quais contabilizavam menos de 6% (World Bank, 2018c) (excluindo hídrica, e 27% contabilizando esta fonte de energia (World Bank, 2018e)), reduzindo assim a dependência nacional de petróleo que se situava entre os 83-86% (World Bank, 2018d).

Em Outubro de 2005, o governo aprovou a nova Estratégia Nacional de Energia que substituiu a Estratégia Nacional de Energia de 2003. Esta foi preparada com a intenção de reduzir o impacto da dependência de fontes de energia importadas, particularmente combustíveis fósseis, e reduzir as emissões de GEE. Adicionalmente eram consideradas: i) a liberalização dos mercados de gás natural e electricidade; o desenvolvimento de um único operador de transmissão para o transporte de gás natural e electricidade; esforços para promover e apoiar fontes de energia renováveis; e a implementação de um plano para aumentar a eficiência energética.

Em 2007, foram definidas metas específicas para as energias renováveis para 2010, nomeadamente: i) 45% da electricidade renovável no consumo bruto de electricidade; ii) uma quota de 10% de biocombustíveis no consumo total de combustível no transporte rodoviário; iii) e a substituição de 5% a 10% do consumo de carvão por biomassa ou resíduos nas centrais de Sines e Pego.

Em Maio de 2008, é publicado o [Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética \(PNAEE\)](#), o qual é composto por um conjunto de medidas destinadas a aumentar a eficiência energética, equivalentes a 9.8% do total do consumo final de energia até 2015.

Posteriormente é elaborado o Plano Nacional para as Alterações Climáticas, o [PNAC 2020/2030](#) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015 de 30 de Julho actualmente em vigor), cujos principais objectivos são:

- i) promover a transição para uma economia de baixo carbono, gerando mais riqueza e emprego, contribuindo para o crescimento verde;
- ii) assegurar uma trajectória sustentável de redução das emissões nacionais de [GEE](#) de forma a alcançar uma meta de redução de 18% a 23% em 2020, de 30% a 40% em 2030 face a 2005, garantindo o cumprimento dos compromissos nacionais de mitigação e a par com os objectivos europeus;
- iii) promover a integração dos objectivos de mitigação nas políticas sectoriais.

A par com o [PNAC](#) foram desenvolvidos outros instrumentos com vista ao desenvolvimento económico e sustentável. Em específico, o [PNAER 2020](#) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013), estabelece directrizes para a introdução de [FER](#) nos sectores da electricidade, aquecimento e arrefecimento. A aposta nas [FER](#) é uma mais valia não só para promover o *mix* energético nacional como também para combater a dependência económica a que o país está sujeito e que deriva da variabilidade de preços da energia e combustíveis.

Quando, em 2010, Portugal se propôs a cumprir os objectivos definidos pela [UE](#), teve de declarar a promoção de energias renováveis era uma prioridade na estratégia energética nacional. Para tal foi essencial analisar as fontes energéticas com maior potencial de produção energética, os seus padrões geográficos bem como a aceitação social a este tipo de tecnologias (F. Ribeiro et al., 2014). Os objectivos foram alcançados maioritariamente devido às energias hidroeléctrica e eólica (Proença e St. Aubyn, 2013), que hoje continuam a ter o maior peso na produção de electricidade renovável.

Pode dizer-se que a energia é a base do crescimento económico uma vez que a economia não pode ser sustentada sem consumo de energia (Zhang, 2011). No entanto, um dos maiores desafios inerentes à descarbonização é a crise económica que afecta a [UE](#) nos últimos anos e que dificulta o investimento a longo prazo em tecnologias mais limpas (Hills e Michalena, 2017).

2.3 Casos de Estudo sobre o Impacto do Consumo Renovável no Crescimento Económico

Nos últimos anos, o aumento das energias renováveis levou a que diversos autores avaliassem os possíveis impactos do consumo de energia renovável em algumas variáveis relacionadas com o bem-estar social e mais especificamente com o crescimento económico.

Existem já diversos estudos sobre a relação energia-economia, maioritariamente sustentados por métodos econométricos. Estes estudos inserem-se em dois grandes grupos: a análise da relação entre o crescimento económico e o consumo de energia como um todo (forma agregada), e a relação entre o crescimento económico e consumo de energia por fonte, nomeadamente consumo renovável e não renovável. Tipicamente, são utilizadas quatro hipóteses base que traduzem as relações possíveis entre o consumo de energia e o crescimento económico, as quais se pretende estudar. Estas hipóteses, sugeridas por Apergis e Payne (2010a) são descritas de seguida:

Hipótese de Crescimento: assume que a energia é uma das principais *driving forces* do processo de crescimento. Assim, assume uma relação causal unidireccional entre o consumo de energia e o crescimento económico, sugerindo que o aumento do consumo de energia provocará o aumento do crescimento económico.

Hipótese de Conservação: sugere que existe uma relação unidireccional de causalidade entre o crescimento económico e o consumo energético. Desta forma, políticas de conservação de energia que reduzem o consumo energético não afectam negativamente o crescimento económico.

Hipótese de Feedback: pressupõe uma relação bidireccional entre o consumo de energia e o crescimento económico. Assim, qualquer mudança no consumo energético afecta o crescimento económico e *vice-versa*. Verificando-se esta hipótese, o crescimento económico e o consumo de energia podem complementar-se. Deste modo, uma política energética que vise o aumento da eficiência energética não afectará negativamente o crescimento económico.

Hipótese Neutra: o consumo energético e o crescimento económico são independentes um do outro.

Os resultados obtidos a partir da avaliação destas hipóteses são relevantes uma vez que podem ser utilizados para rever e formular políticas energéticas. Embora o progresso das tecnologias de energia renovável seja notável, há ainda muito a fazer no sentido de tornar a implementação e o uso destas tecnologias em algo comum. Verifica-se ainda alguma relutância na aposta de alguns países nestas tecnologias.

De seguida apresenta-se um breve inventário da literatura consultada onde são utilizados métodos econométricos para estudar a relação crescimento económico e consumo de energia renovável. A literatura consultada encontra-se sintetizada na tabela 2.1 onde se identifica a área geográfica estudada em cada um dos artigos mencionados, o intervalo de tempo considerado no estudo, a metodologia utilizada e respectivos resultados obtidos. Os resultados diferenciam-se em função dos países em estudo. Para países como a Alemanha, países da [Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico \(OCDE\)](#) e também Portugal verifica-se que existe uma relação positiva entre o consumo de energia renovável e o crescimento económico. Em países como a China verifica-se uma

2.3. CASOS DE ESTUDO SOBRE O IMPACTO DO CONSUMO RENOVÁVEL NO CRESCIMENTO ECONÓMICO

relação bidireccional entre o consumo de energia e o crescimento económico, nomeadamente devido às energias nuclear e hidroeléctrica. Em países como a Bulgária, Hungria e Polónia verifica-se que é o crescimento económico que impacta positivamente o consumo de energia renovável. Contrariamente, na Turquia verifica-se que o consumo de energia renovável tem um impacto negativo no crescimento económico. Relativamente à metodologia mencionada na tabela seguinte, identificam-se diversos testes característicos de uma análise econométrica, sendo que alguns deles serão utilizados nesta dissertação e explicados no capítulo 3.

No que concerne a Portugal verificou-se um ligeiro aumento da contribuição das energias renováveis no PIB, que passou dos 2.429 M€ em 2010 para os 2.730 M€ em 2013 (APREN, 2014). Alguns autores como, Jesus (2011) e Amador (2015) realizaram estudos sobre o impacto das do sector das energias na criação de riqueza em Portugal sugerindo que existe uma relação de causalidade unidireccional entre o consumo de energias renováveis e o crescimento económico. Jesus (2011) conclui que as energias renováveis representem cerca de 2% do PIB em 2015.

Tabela 2.1: Casos de estudo seleccionados sobre o estudo da relação crescimento económico e consumo renovável utilizando métodos econométricos.

Referência	Área Geográfica	Período	Variáveis	Metodologia	Resultados
(Koçak e Şarkgüneşi, 2017)	Península Balcânica: Albânia, Bulgária, Georgia, Grécia, Macedónia, Rússia, Ucrânia, Turquia, Roménia	1990 - 2012	Capital, Emprego, PIB <i>per capita</i> , Consumo de energia renovável	Ordinary Least Squares (OLS)	Para a Bulgária, Grécia, Macedónia, Rússia e Ucrânia verifica-se a hipótese de crescimento . Para a Albânia, Georgia, e Roménia verifica-se a hipótese de feedback . A hipótese neutra verifica-se apenas para a Turquia.
(Furuoka, 2017)	Países Bálticos	1992 - 2011	Consumo total de electricidade, consumo de electricidade renovável, consumo de electricidade fósil, PIB	Testes de raiz unitária, co-integração e Teste de causalidade de Granger	Verifica-se a hipótese de crescimento pois existe uma relação unidireccional entre o desenvolvimento económico e o consumo renovável.
(Rafindadi e Ozturk, 2017)	Alemanha	1971 - 2013	PIB <i>per capita</i> , Consumo de energia renovável <i>per capita</i> , Capital <i>per capita</i> , Emprego <i>per capita</i>	Testes de raiz unitária, VAR, teste de co-integração de Johansen, VECM	Verifica-se a hipótese de feedback pois existe uma relação de causalidade bidireccional entre o consumo de energia renovável e o crescimento económico.
(Ingesi-Lotz, 2016)	Países da OCDE	1990 - 2010	Consumo de energia renovável, Capital, Emprego, PIB, PIB <i>per capita</i> , Investimento em R&D, % consumo renovável/consumo total de energia	Testes de raiz unitária e co-integração	Os resultados revelam uma relação de equilíbrio a longo prazo entre o crescimento económico, o investimento, o emprego e o consumo renovável.

Continua na página seguinte

Tabela 2.1 – Continuação da página anterior

Referência	Área Geográfica	Período	Variáveis	Metodologia	Resultados
(Apergis e Payne, 2010b)	Países da OCDE	1985 - 2005	PIB, Investimento, Emprego, Consumo de energia renovável	Teste de raiz unitária (ADF), Teste de co-integração (Fully Modified Ordinary Least Squares (FMOLS)) e Teste de causalidade de Granger	Relação bidireccional positiva entre o consumo de energia renovável e o crescimento económico a longo e a curto prazo, verificando-se a hipótese de feedback .
(Bhattacharya et al., 2016)	38 países	1991 - 2012	PIB, Investimento, Emprego total, Consumo de energia renovável e fóssil	Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS), FMOLS	Verifica-se a hipótese de crescimento , tanto para fontes renováveis como para fontes não-renováveis.
(Dogan, 2016)	Turquia	1988 - 2012	PIB <i>per capita</i> , Emprego <i>per capita</i> , Investimento (% PIB), consumo de energia renovável e consumo de energia fóssil <i>per capita</i>	Teste de raiz unitária (ADF e, Zivot-Andrews), Testes de co-integração de Johansen e Hansen-Gregory, Structural Vector Error Correction Model (SVECM)	Relação bidireccional, a curto e longo prazo, entre o consumo não-renovável e o crescimento económico, suportando a hipótese de feedback . A curto prazo, revela-se uma relação unidireccional (hipótese de conservação) entre o crescimento económico e o consumo renovável que se torna bidireccional a longo prazo, verificando-se a hipótese de feedback .
(Alper e Oguz, 2013)	Turquia	1990 - 2010	PIB, Investimento, Emprego total, Consumo de energia renovável	Teste de raiz unitária (ADF-WS), Teste de co-integração e Teste de causalidade de Toda e Yamamoto	Verifica-se a hipótese de conservação pois existe uma relação unidireccional de causalidade do crescimento económico para o consumo energético renovável.

Continua na página seguinte

Tabela 2.1 – Continuação da página anterior

Referência	Área Geográfica	Período	Variáveis	Metodologia	Resultados
(Dogan, 2015)	Turquia	1990 - 2012	PIB <i>per capita</i> , Emprego <i>per capita</i> , Investimento <i>per capita</i> , Produção de electricidade renovável e produção de electricidade fóssil <i>per capita</i>	Testes de raiz unitária (ADF e Zivot-Andrews), Teste de co-integração de Johansen, Gregory-Hansen e Teste de causalidade de Granger	Relação de longo prazo entre o crescimento económico, o consumo renovável e não-renovável, o capital e o emprego. A curto prazo, os testes efectuados, defendem a hipótese neutra entre o crescimento económico, o consumo renovável e o consumo não renovável.
(Alper e Oguz, 2016)	Bulgária, Eslovénia, Polónia, Eslovénia, Hungria, República Checa e Chipre	1990 - 2009	PIB, Capital, Emprego, Consumo de energia renovável	Testes de raiz unitária (ADF e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)) e Testes de causalidade	Verifica-se a hipótese de conservação para a República Checa devido à relação unidireccional de causalidade entre o crescimento económico e o consumo de energia renovável.
(Long et al., 2015)	China	1952 - 2012	PIB, Emprego, Capital, Emissões CO ₂ , Electricidade Renovável, Consumo de carvão, petróleo e gás natural	Testes de raiz unitária (ADF e Phillips-Perron), co-integração de Johansen e Teste de causalidade de Granger	Relação bidireccional entre o PIB e as emissões de CO ₂ , o carvão e gás, e o consumo de electricidade, suportando a hipótese de feedback ainda que sem distinção entre a electricidade renovável e a electricidade fóssil.
(Lin e Moubarak, 2014)	China	1977 - 2011	PIB, Emissões CO ₂ , Emprego, Consumo energia renovável	Testes de raiz unitária (ADF, Phillips-Perron e KPSS), Teste de co-integração de Johansen e Teste de causalidade de Granger	Relação bidireccional de longo prazo entre o consumo renovável e o crescimento económico, que suporta a hipótese de feedback . As emissões de CO ₂ , o emprego e o crescimento económico têm um efeito positivo no consumo renovável. O emprego tem um efeito positivo nas renováveis mas apenas a curto prazo.

Continua na página seguinte

Tabela 2.1 – Continuação da página anterior

Referência	Área Geográfica	Período	Variáveis	Metodologia	Resultados
(Tang et al., 2013)	Portugal	1974 - 2009	PIB <i>per capita</i> , Consumo de electricidade <i>per capita</i> , Preço energia (relativo), Quociente de desenvolvimento financeiro face ao PIB, Quociente de investimento directo face ao PIB	Testes de raiz unitária (ADF e Phillips-Perron), Teste de co-integração, e Teste de causalidade de Granger	Verifica a hipótese de crescimento e rejeita a hipótese de conservação para as políticas energéticas.

Nos últimos anos já vários autores como Menegaki e Tugcu (2018), O'Mahony et al. (2018), Menegaki e Tiwari (2017), Gaspar et al. (2017), e Menegaki e Tugcu (2016), se dedicaram ao estudo da relação entre o desenvolvimento e crescimento económico e o consumo energético utilizando o *Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW)* como indicador do desenvolvimento, utilizando metodologias semelhantes às mencionadas anteriormente. Alguns dos resultados obtidos são descritos de seguida.

Menegaki e Tugcu (2016) começou por estudar a relação entre o consumo energético e o crescimento, em países de África sub-Sariana, propondo o *ISEW* como índice de desenvolvimento com o intuito de fazer uma comparação com o índice convencional - *PIB*. Neste seu estudo concluiu que enquanto se verificava que não existia relação de causalidade entre o consumo energético e o *PIB*, ao contrário, observavam-se evidências da hipótese de *feedback* entre o consumo energético e o *ISEW*. Menegaki estendeu os seus estudos aos países americanos (Menegaki e Tiwari, 2017) onde observou uma relação positiva entre a energia renovável e o desenvolvimento económico sustentável, verificando a existência de uma relação bidireccional entre o *ISEW* e a energia renovável. Mais tarde, estudou ainda esta relação energia-desenvolvimento em países Asiáticos (Menegaki e Tugcu, 2018), onde se mostrou a existência de uma relação de causalidade bidireccional entre o crescimento económico e o consumo energético. Neste estudo, não se notaram diferenças significativas entre os indicadores *PIB* e *ISEW*, ao contrário do que havia acontecido nos estudos anteriores.

O'Mahony et al. (2018), realiza uma comparação entre as abordagens adoptadas pelos indicadores *PIB* e *ISEW*, incluindo no seu estudo os custos associados à depleção da energia e às alterações climáticas. Conclui que enquanto o *PIB* aumenta o *ISEW* não acompanha o seu crescimento. Sugere ainda que acumular custos ambientais trará consequências significativas.

Já Gaspar et al. (2017), apresenta resultados inovadores no seu estudo da relação desenvolvimento-energia, comparando os indicadores *PIB* e *ISEW*. Assim, os seus resultados afirmam que o consumo energético e o *PIB* não são variáveis completamente dependentes contudo, um aumento no *PIB* causa um aumento no consumo energético. Relativamente ao indicador *ISEW*, verifica-se uma hipótese de *feedback* negativa, significando que, um decréscimo no consumo de energia causa um aumento do *ISEW*. E, pela mesma lógica, um decréscimo no *ISEW* implica um aumento do consumo energético. Neste estudo recomenda-se ainda que o decréscimo no consumo energético seja obtido através da eficiência energética.

METODOLOGIA

Este capítulo apresenta uma descrição detalhada da metodologia utilizada nesta dissertação, nomeadamente dos testes de raiz unitária, correlogramas cruzados, testes de causalidade e testes de co-integração. Este capítulo encontra-se dividido em duas secções, apresentadas de seguida.

3.1 Conceitos Básicos de Econometria

O presente estudo é baseado na análise de séries temporais anuais através de métodos econométricos. A econometria é uma disciplina que, através de ferramentas estatísticas e da aplicação de modelos matemáticos, permite analisar a relação entre diversas variáveis. Uma das aplicações mais comuns desta disciplina é a previsão de variáveis económicas (Wooldridge, 2012).

Pode definir-se série temporal como uma sucessão cronológica de dados, ou seja, um conjunto de observações dispostas no mesmo intervalo ao longo do tempo. Uma série temporal possui diversas características, nomeadamente, linearidade, estacionariedade e pode ser determinística ou estocástica (Xavier, 2016). Uma das características mais relevantes das séries temporais é a sua estacionariedade (Bezerra, 2006), ou seja, uma série cujas propriedades se mantêm constantes ao longo do tempo (Xavier, 2016). Por sua vez, uma série temporal estacionária não apresenta raiz unitária e a sua média e co-variância não variam. Esta é uma característica determinante no estudo das séries temporais e, por isso, será tratada mais adiante.

Um conceito muitas vezes associado à estacionariedade ou não-estacionariedade das séries temporais é o conceito de desfasamento. Os desfasamentos ou "atrasos" representam o número de períodos de tempo que separam uma ou mais séries temporais (Sørensen, 2012). Desta forma, o conhecimento sobre os desfasamentos, permite perceber como as séries se comportam e correlacionam ao longo do tempo, isto é, como uma observação no presente se relaciona com observações de períodos anteriores.

No seguimento do conceito de desfasamento, pode verificar-se o conceito de diferenciação de uma série temporal. As primeiras diferenças de uma série representam o valor

da diferença de um período da série para o seguinte (Xavier, 2016), como é definido pela expressão 3.1. A primeira diferença de uma variável pode ser interpretada como uma taxa de variação dessa mesma variável.

$$Y_t = X_t - X_{t-1} \quad (3.1)$$

Outro conceito relevante à elaboração da presente dissertação é o conceito de causalidade, no caso a causalidade de Granger, que afirma que se a variável x causa a variável y , então x é uma das causas para ocorrer y (Granger, 1969). Por último apresenta-se o conceito de co-integração: duas variáveis dizem-se co-integradas quando entre elas existe uma relação de equilíbrio no longo prazo (C. S. Ribeiro, 1996). A co-integração das variáveis é uma característica fundamental quando se pretende fazer previsão para essas mesmas variáveis. Estes conceitos suportam a metodologia utilizada na presente dissertação, como se apresenta de seguida.

3.2 Metodologia Aplicada

Nesta dissertação é realizada uma análise das séries temporais anuais de variáveis, utilizando métodos econométricos. As variáveis utilizadas neste estudo são: PIB, emissões totais de CO₂, produção de electricidade renovável e emprego no sector electroprodutor. Sendo que o PIB representa o crescimento económico pois é indicador mais utilizado e com mais informação disponível para quantificar a actividade económica do país. As emissões totais de CO₂ representam o impacto das actividades no ambiente, uma vez que o CO₂ é um dos principais poluentes atmosféricos e cuja redução é uma das metas definidas no Acordo de Paris. O sector electroprodutor é o que mais contribui com emissões de poluentes atmosféricos em Portugal, e por isso a electricidade renovável é um dos pilares da política energética nacional, pelo que importa perceber se a geração de electricidade renovável produz riqueza no país. Por fim, importa também saber se a aposta na electricidade renovável cria ou não postos de trabalho em Portugal.

Na tabela 3.1 encontra-se sintetizada a informação sobre cada uma das variáveis em estudo. Importa referir que a produção da electricidade renovável foi considerada como uma aproximação do consumo de electricidade renovável. Ainda que o consumo de energia final renovável vá muito para além do consumo de electricidade renovável, nomeadamente devido ao consumo de biomassa e biocombustíveis, não existem séries temporais com esta informação anteriores a 1990 (ano a partir do qual se encontram disponíveis os balanços energéticos da Direcção-Geral da Energia e Geologia (DGEG)) o que limitava a qualidade da análise.

Adicionalmente refira-se que o crescente papel que a energia renovável tem vindo a desempenhar a nível nacional está directamente relacionado com a geração de electricidade, como sejam o crescimento de capacidade instalada de eólica e solar fotovoltaico. Assim, para o objectivo da presente dissertação considerou-se ser mais relevante analisar apenas o papel da electricidade renovável no crescimento económico nacional.

Tabela 3.1: Resumo das variáveis utilizadas e a sua caracterização.

Variável	Descrição	Unidade	Série temporal	Fonte
PIB	PIB a preços constantes (base=2011)	Milhões de €	1960-2016	(Pordata, 2018b)
Emissões CO₂	Total das emissões de CO ₂ em Portugal	kt	1960-2014	(World Bank, 2018a)
Produção de Electricidade Renovável	Electricidade produzida a partir das energias: geotérmica, eólica, solar fotovoltaica, hídrica e biocombustíveis sólidos	GWh	1960-2015	(IEA, 2016a)
Emprego no Sector Electroprodutor	Emprego no sector da electricidade, gás e água	Milhares	1960-2015	(Banco de Portugal, 2018) (Pordata, 2018a)

Tal como referido anteriormente, o principal objectivo desta dissertação é aferir sobre o impacto da produção de electricidade renovável no crescimento económico nacional e determiná-lo. Pretende-se também determinar se o sector electroprodutor renovável produz impacto no emprego deste sector. Caso se verifique a existência de relação entre as variáveis supracitadas, são elaboradas previsões de crescimento económico para cenários futuros (neste caso para 2020 e 2030), com base nas relações encontradas.

Primeiramente foi realizada uma análise exploratória de dados com o intuito de realizar um estudo prévio sobre variáveis escolhidas, perceber *a priori* como estas evoluem ao longo do tempo e como se relacionam entre si. Após este estudo prévio procedeu-se a uma análise mais detalhada sobre as variáveis utilizando métodos econométricos. O primeiro passo da análise econométrica realizada foi proceder à transformação das variáveis em estudo na sua forma logarítmica, com o objectivo de suavizar as variações que ocorrem em cada variável ao longo do tempo. A análise econométrica utilizada é constituída por seis fases fundamentais, baseadas nos métodos utilizados em estudos semelhantes, designadamente:

1. Testes de raiz unitária: esta é uma fase de diagnóstico em que se pretende determinar a ordem de integração das variáveis;
2. Correlogramas cruzados: análise prévia sobre a existência de correlação entre as variáveis;
3. Testes de causalidade: permitem aferir sobre a existência de relações de causalidade entre as variáveis e qual o seu sentido;
4. Testes de co-integração: determinam a existência de relações de longo prazo entre as variáveis;
5. Modelo corrector do erro: determinam a existência de relações de curto prazo entre as variáveis;

6. Previsão de cenários: previsão de cenários com base nas relações de longo prazo determinadas.

Primeiramente realizam-se os testes de raiz unitária que testam a estacionariedade das séries em estudo, isto é, verifica-se se as variáveis são estacionárias e se desenvolvem aleatoriamente em torno de uma média ao longo do tempo, ou se, pelo contrário, são não-estacionárias e exibem, por exemplo, uma tendência. Assim, determinar a estacionariedade das séries é relevante para conhecer o seu comportamento e consequentemente determinar as suas correlações.

De seguida elaboram-se correlogramas cruzados dos pares das variáveis de forma a estudar *a priori* uma possível relação de correlação. Seguem-se os testes de causalidade que permitem aferir sobre a existência ou inexistência de relação causal entre as variáveis. Os testes de co-integração permitem perceber a relação de longo-prazo existente. Por fim, o modelo corrector do erro permite conhecer a relação de curto prazo das variáveis. Se for possível verificar que as variáveis são co-integradas será possível prever cenários futuros sobre o crescimento económico derivado da produção de electricidade renovável, o que corresponde ao último passo da metodologia utilizada. A figura 3.1 ilustra a sequência dos métodos utilizados e que suportam a metodologia utilizada na elaboração da presente dissertação.

Para cada um dos passos enunciados acima existem vários modelos e testes matemáticos possíveis de serem aplicados. Os testes executados nesta dissertação foram escolhidos com base na literatura consultada, tal como referido anteriormente.

Quando são aplicados modelos estatísticos a um conjunto de dados utilizam-se critérios de informação que permitem estimar a qualidade dos modelos elaborados. Existem diversos critérios de informação já bem conhecidos dos especialistas e que servem várias situações. Na execução destes testes, e com base na literatura consultada, foi utilizado o [Critério de Informação de Akaike \(AIC\)](#) nos métodos 1 e 3 para determinar o número mais adequado de defasamentos a utilizar. Considerando este critério, quanto menor o seu valor, melhor será o ajuste do modelo ao conjunto de dados. Segundo Akaike (1974), o critério de informação (AIC) é definido pela equação 3.2:

$$AIC = -2\log(\theta) + 2k \quad (3.2)$$

Onde k representa o número de parâmetros ajustados independentemente no modelo e θ é a função máxima de verosimilhança do modelo.

Os testes realizados nesta dissertação têm por base o estimador OLS ou *Mínimos Quadrados Lineares*. Este é um dos métodos mais utilizados em econometria por ser um estimador consistente para modelos de regressão linear. Este consiste em encontrar o melhor modelo de ajuste a um determinado conjunto de dados (Verbeek, 2008).

De seguida realiza-se uma exposição detalhada dos testes realizados. Os testes realizados sobre as séries temporais foram desenvolvidos através do *software* Gretl (Gnu

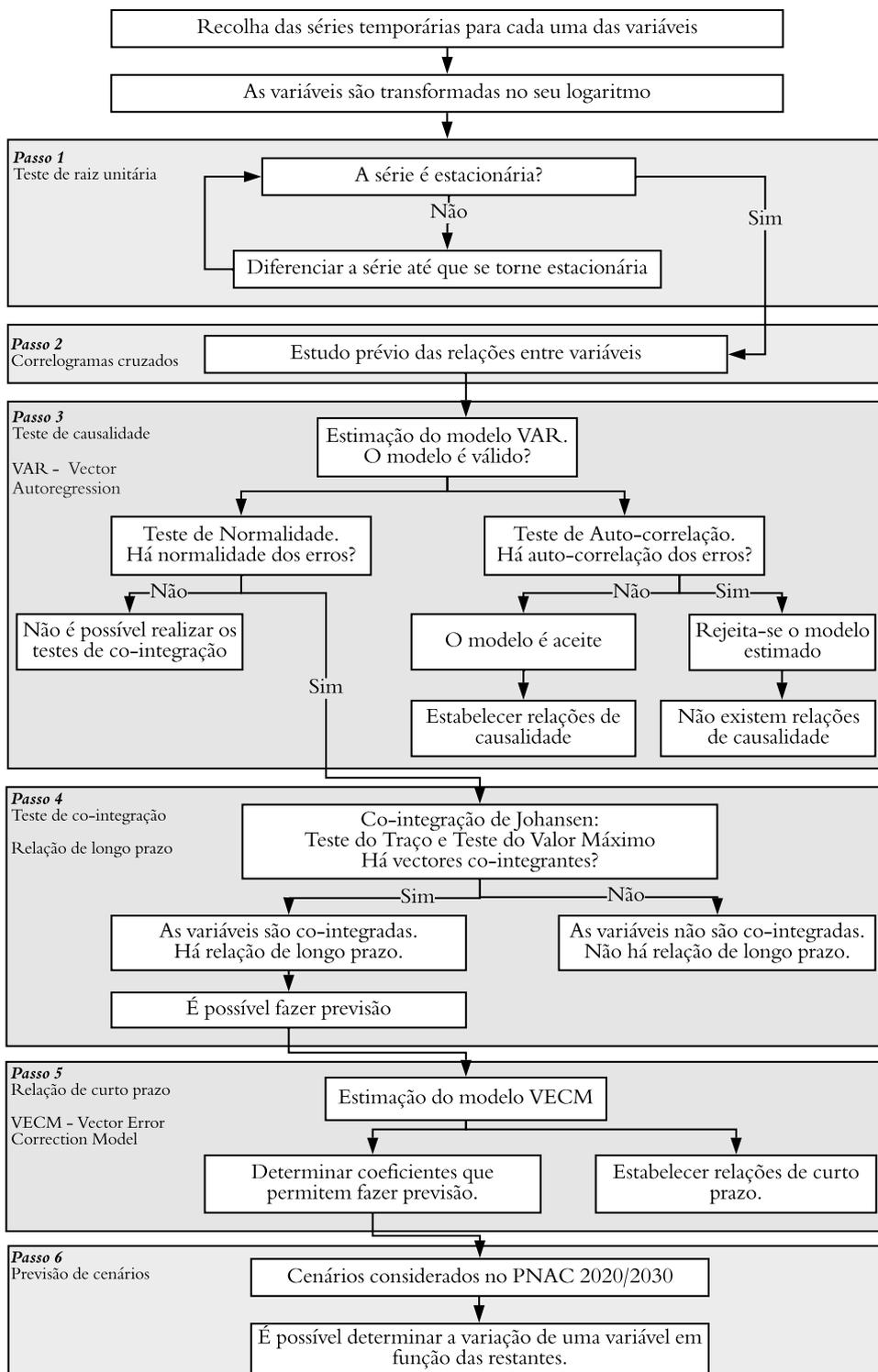


Figura 3.1: Fluxograma síntese da metodologia utilizada.

Regression, Econometrics and Time-series Library)¹ e JMulTi (Time Series Analysis with Java)².

3.2.1 Análise Exploratória de Dados

A análise exploratória de dados teve como objectivo explorar as séries temporais utilizadas através de regressões lineares simples. Desta forma foi possível ter uma ideia global do comportamento das mesmas ao longo do tempo, nomeadamente pontos ou inversões da tendência. Foram utilizadas as variáveis: PIB, emissões totais de CO₂, produção bruta de electricidade renovável, produção bruta de electricidade fóssil e emprego no sector electroprodutor.

3.2.2 Testes de raiz unitária

O teste de raiz unitária **ADF** (Dickey e Fuller, 2014) foi utilizado para determinar a ordem de integração das variáveis em estudo e consequentemente a sua estacionariedade. A estacionariedade ou não-estacionariedade de uma variável é relevante na medida em que esta é uma condição necessária para a análise da relação entre variáveis, e uma das principais características na análise de séries temporais.

Primeiramente, realizou-se o teste **ADF** com todas as variáveis em estudo, utilizando o critério de informação **AIC** na selecção do número de desfasamentos. Este teste tem como objectivo averiguar a existência ou inexistência de uma raiz unitária para um determinado conjunto de dados e é baseado numa regressão linear. No teste **ADF** são consideradas as hipóteses:

H_0 : hipótese nula, confirmando a existência de raiz unitária;

H_1 : a série não apresenta raiz unitária.

No caso de se confirmar a hipótese H_1 , confirma-se que não existe raiz unitária, logo a série é estacionária e o estudo pode prosseguir. Note-se que uma série estacionária diz-se, consequentemente, integrada de ordem 0 ($I(0)$). Confirmando-se a hipótese nula depreende-se que existe pelo menos uma raiz unitária e a série de dados não é, desta forma, estacionária. Neste caso é necessário diferenciar a série para a tornar estacionária. O número de diferenciações que a série sofre até atingir a estacionariedade determina a sua ordem de integração.

Uma vez que o conhecimento sobre o comportamento das séries em análise ao longo do tempo não é muito elevado, o teste **ADF** foi executado para as três situações possíveis, apresentadas de seguida (Enders, 1995):

i) sem constante, cuja equação é definida por:

$$\Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + v_t \quad (3.3)$$

¹<http://gretl.sourceforge.net/>

²<http://www.jmulti.de/>

ii) com constante e sem tendência, definida pela equação:

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + v_t \quad (3.4)$$

iii) com constante e tendência, dada pela equação:

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \lambda_t + v_t \quad (3.5)$$

Sendo Y_t a variável em análise, α corresponde à constante e λ à tendência, γ representa o coeficiente de presença de raiz unitária e v o resíduo associado.

Uma vez verificada a estacionariedade e ordem de integração das variáveis elaboram-se os correlogramas cruzados entre as variáveis de modo a ter uma primeira percepção da possível correlação entre elas.

3.2.3 Correlogramas Cruzados

No segundo passo da metodologia elaboraram-se as correlações cruzadas entre as variáveis, no seu nível de estacionariedade, de modo a fazer uma exploração prévia da possível relação entre as variáveis. Os correlogramas cruzados foram gerados para 2 defasamentos, ou seja, em cada correlograma elaborado será possível observar a correlação existente entre as variáveis nos períodos $t = -2$, $t = -1$, $t = 0$, $t = 1$, e $t = 2$. Deste modo elaboraram-se os correlogramas cruzados dos seguintes pares de variáveis:

- i) Emprego no Sector Electroprodutor e Produção de Electricidade Renovável;
- ii) PIB e Produção de Electricidade Renovável;
- iii) Produção de Electricidade Renovável e Emissões de CO₂;
- iv) PIB e Emissões de CO₂;
- v) PIB e Emprego no Sector Electroprodutor.

Por observação do gráfico destes correlogramas será possível fazer uma análise preliminar sobre a relação entre estas variáveis. O próximo passo pretende avaliar a existência de causalidade entre as variáveis.

3.2.4 Testes de causalidade - *Vector Autoregression (VAR)*

Os testes de causalidade pretendem mostrar a existência de relações de causalidade entre as variáveis consideradas anteriormente. Neste caso foi utilizado o modelo VAR para testar a causalidade entre as variáveis. Os modelos VAR surgiram nos anos 80 e caracterizam-se por serem modelos de regressão definidos por sistemas de equações (Moraes, 2011), sendo que cada equação define uma combinação de séries temporais. A abordagem do modelo auto-regressivo utilizada na presente dissertação, foi também realizada

por Dolado e Lütkepohl (1996), por ter a vantagem de não apresentar restrições quanto à dependência das variáveis.

Primeiramente é necessário definir o número de defasamentos mais adequado a utilizar. O número de defasamentos (p), quando se estima o VAR, é seleccionado com base nos critérios de Akaike, 2011, Schwarz, 1978 e Hannan e Quinn, 1979 estando estes relacionados com a periodicidade dos dados em estudo. De modo a testar se o número de defasamentos estimado pelos critérios de informação utilizados é o mais adequado ao estudo, realiza-se um teste de auto-correlação dos erros derivados do modelo VAR que se pretende estimar.

O teste de auto-correlação dos erros, ou *Ljung-Box test*, é um teste diagnóstico que permite averiguar se os resíduos inerentes à estimação do modelo se auto-correlacionam. Neste teste são estipuladas as seguintes hipóteses:

H_0 : ausência de auto-correlação dos resíduos;

H_1 : há auto-correlação dos resíduos.

É desejável que a parte desconhecida do modelo VAR estimado (erros) não tenha auto-correlação, ou seja, pode ser desprezada. Tal verifica-se se, $p\text{-value} > 0.05$. Foi aplicado o modelo VAR a dois conjuntos de variáveis, A e B que se apresentam de seguida, de modo a determinar as relações de causalidade existentes entre as variáveis de cada conjunto.

A. PIB, Produção de Electricidade Renovável, Emissões de CO₂;

B. PIB, Produção de Electricidade Renovável, Emprego no Sector Electroprodutor.

É estimado o VAR_($p+1$), sendo p a ordem de integração das variáveis. Quando estimado o VAR, testa-se a causalidade a partir do $p\text{-value}$ estimado. Este teste tem como hipóteses:

H_0 : hipótese nula, onde não existe causalidade entre as variáveis;

H_1 : existência de relação de causalidade entre as variáveis.

No modelo VAR, um $p\text{-value} < 0.05$ implica a rejeição de H_0 , concluindo que há causalidade.

É estimado um VAR sem restrições para as variáveis em nível logarítmico (ln), onde se averigua a causalidade existente entre as variáveis. O VAR pode ser descrito através da equação:

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.6)$$

Onde $Y_t = Y_t, \dots, Y_{kt}$ representa um vector de k variáveis endógenas estacionárias, A_0 é um vector de constantes, A_1, \dots, A_p são matrizes de coeficientes $k * k$, p o número de defasamentos considerados e ε_t o erro associado ao modelo elaborado.

Assim, em cada um dos conjuntos mencionados acima são testadas as relações de causalidade das variáveis entre elas. No caso, considerando o conjunto A, obtém-se as

relações de causalidade definidas pelas equações 3.7, 3.8 e 3.9, onde α e β representam coeficientes que quantificam as relações de causalidade encontradas.

$$\text{PIB} = \alpha(\text{Electricidade Renovável}) + \beta(\text{Emissões de CO}_2) \quad (3.7)$$

Através da equação acima (3.7) é possível aferir sobre a existência de relação de causalidade da produção de electricidade renovável e das emissões de CO₂ sobre o PIB.

$$\text{Emissões de CO}_2 = \alpha(\text{Electricidade Renovável}) + \beta(\text{PIB}) \quad (3.8)$$

Do mesmo modo, a equação 3.8 permite determinar se existe a produção de electricidade renovável e o PIB apresentam uma relação de causalidade com as emissões de CO₂.

$$\text{Electricidade Renovável} = \alpha(\text{Emissões de CO}_2) + \beta(\text{PIB}) \quad (3.9)$$

Na equação 3.9 determina-se a existência de relação de causalidade entre o PIB e as emissões de CO₂ e a produção de electricidade renovável. Do mesmo modo, considerando o conjunto B obtém-se as relações de causalidade definidas por 3.10, 3.11 e 3.12, apresentadas de seguida:

$$\text{PIB} = \alpha(\text{Electricidade Renovável}) + \beta(\text{Emprego no Sector Electroprodutor}) \quad (3.10)$$

Sendo que pela equação 3.10 se averigua a existência de relação de causalidade entre a produção de electricidade renovável, o emprego no sector electroprodutor e o PIB.

$$\text{Emprego no Sector Electroprodutor} = \alpha(\text{Electricidade Renovável}) + \beta(\text{PIB}) \quad (3.11)$$

Através da equação 3.11 determina-se a existência de relação de causalidade entre as variáveis produção de electricidade renovável e PIB com a variável emprego no sector electroprodutor.

$$\text{Electricidade Renovável} = \alpha(\text{Emprego no Sector Electroprodutor}) + \beta(\text{PIB}) \quad (3.12)$$

Por fim, a equação acima (3.12), permite aferir sobre a existência da relação de causalidade entre as variáveis emprego no sector electroprodutor e PIB e a produção de electricidade renovável.

Após ser testada a causalidade de Granger para as variáveis mencionadas anteriormente, importa perceber se estas apresentam alguma relação de longo prazo entre si, ou seja, se existe co-integração. Para tal, é realizado um teste diagnóstico - teste de normalidade - dos erros do modelo VAR estimado. É necessário garantir a normalidade dos erros para

que os testes de co-integração realizados posteriormente sejam válidos. Este teste de normalidade dos erros foi proposto por Doornik e Hansen (2008), e tem por hipóteses:

H_0 : existe normalidade dos erros;

H_1 : não existe normalidade dos erros.

Desta forma, pretende-se aceitar a hipótese nula, pois é necessário que os resíduos estimados com o modelo tenham distribuição normal, para tal espera-se que $p - value > 0.05$. O teste de normalidade permitirá aplicar os testes de co-integração que se seguem. Na próxima secção são descritos os métodos utilizados nos testes de co-integração.

3.2.5 Teste de co-integração

O teste de co-integração utilizado neste estudo foi o teste de Johansen (Johansen, 1992), que tem a vantagem de não ser necessário definir uma variável dependente, assumindo assim que todas o são. Este teste tem como objectivo averiguar se as variáveis são ou não co-integradas, e assim, se existe entre elas uma relação de longo prazo, tendo por base os testes de raiz unitária criados por Dickey e Fuller (Enders, 1995).

Neste teste a existência de co-integração entre as variáveis é determinada pela presença de vectores co-integrantes (n). O número de vectores co-integrantes é dado pelo *rank* da matriz (π) (equação 3.13):

$$\pi = \alpha * \beta' \quad (3.13)$$

Sendo que α representa o coeficiente de ajustamento dos parâmetros e β' o número de vectores co-integrantes. O teste de Johansen recorre ao teste do traço e ao teste do valor máximo para averiguar a existência de vectores co-integrantes entre as variáveis. As conclusões destes testes, à semelhança do que acontece com os restantes testes realizados até ao momento, são deduzidas através dos respectivos valores de $p - value$. O teste do traço é dado pela expressão:

$$\lambda_{trace}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (3.14)$$

Onde T representa o número de observações utilizadas e $\hat{\lambda}_i$ o número estimado de raízes características. Este teste tem como hipóteses:

H_0 : aceita-se a existência de co-integração das variáveis;

H_1 : rejeita-se a existência de co-integração das variáveis.

De forma a aceitar que existe co-integração das variáveis é desejável um valor de $p - value > 0.05$, para o teste do traço.

Analogamente, pode interpretar-se o teste do valor máximo, pois este apresenta as mesmas hipóteses. O teste do valor máximo é descrito por:

$$\lambda_{max}(r, r + 1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (3.15)$$

A existência de co-integração entre um dado conjunto de variáveis implica a existência de causalidade em pelo menos um dos sentidos dessas variáveis.

3.2.6 Modelo Corrector do Erro - *Vector Error Correction Model (VECM)*

Nesta secção são descritos os métodos utilizados no **VECM**, que permitem determinar a existência de correlação das variáveis a curto prazo. Se for previamente confirmada a existência de co-integração entre as variáveis, e conseqüentemente a existência de uma relação de equilíbrio a longo prazo, é possível determinar essa relação neste modelo **VECM**. Este modelo pode ser descrito pela expressão 3.16 (Moreira, 2011):

$$\Delta y_t = \alpha \beta' y_{t-1} + \Gamma \Delta X + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

Onde Δy_t representa as variáveis endógenas, $\alpha \beta'$ traduz a matriz π já mencionada anteriormente, Γ são os parâmetros de curto prazo, ΔX as variáveis exógenas e ε_t o erro associado ao modelo elaborado.

Sabendo que as séries temporais são estacionárias na sua primeira diferença e são co-integradas, é possível modificar o modelo **VAR** para inferir sobre as possíveis relações de curto prazo entre as variáveis. Este processo é possível através da execução do modelo **VECM** (Adkins, 2010).

É então estimado um **VECM** de ordem igual à ordem de integração do conjunto de variáveis em estudo. Dos resultados deste modelo é possível extrair os factores de correlação das variáveis.

3.2.7 Previsões de Cenários

Uma das principais vantagens associada aos modelos auto-regressivos, como os utilizados neste estudo, é a possibilidade de fazer previsões. Neste sentido, serão realizadas previsões de crescimento económico e emissões de CO₂ para 2020 e 2030, considerando os cenários estabelecidos pelo PNAC 2020/2030 que são descritos de seguida (Seixas et al., 2014):

Cenário de Referência (Cenário *Ref*): contempla as medidas incluídas nos documentos de política nacional em vigor até 1 de Setembro de 2013. Este cenário é o mais conservador no que diz respeito à produção de eletricidade renovável;

Cenário de Referência Ajustado (Cenário *Ref_{aj}*): contempla as medidas incluídas no cenário anterior, excepto no que é relativo à capacidade de produção eólica *offshore*, ondas e solar concentrado (CSP), potencial de hídrica em 2030, datas de encerramento das centrais de carvão de Sines e Pego, (novas) centrais de ciclo combinado de Sines e Lavos e número de veículos eléctricos em 2020. Este cenário traduz a expectativa de um conjunto de *stakeholders* consultados.

Cenário de maior ambição (Cenário *Ref_{aj+}*): este cenário tem por base o cenário anterior, todavia, é mais optimista quanto à contribuição de algumas tecnologias

energéticas até 2030, nomeadamente, o solar fotovoltaico (PV), bombas de calor e solar térmico. Considera ainda o PERSU 2020 e o novo regulamento comunitário para os gases fluorados (Regulamento (EU) n.º517/2014, de 16 de Abril). Este cenário está associado a uma maior produção de electricidade renovável.

As previsões são realizadas com base nos cenários descritos anteriormente e com a relação de correlação também estudada anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos pela metodologia descrita anteriormente, incluindo uma breve discussão dos mesmos. Por último apresentam-se previsões de cenários futuros, tendo por base os resultados obtidos.

4.1 Análise Exploratória de Dados

Esta secção apresenta uma análise exploratória das variáveis utilizadas na realização desta dissertação, designadamente: PIB, emissões totais de CO₂, produção bruta de electricidade renovável e emprego no sector electroprodutor. É ainda realizada a análise evolutiva da produção de electricidade renovável em Portugal, considerando o perfil das tecnologias utilizadas, nomeadamente: hídrica, eólica, geotérmica, solar fotovoltaica e biocombustíveis.

Como se pode observar na figura 4.1, o PIB e as emissões de CO₂ têm tido uma evolução muito semelhante desde 1960 até ao ano 2000, aproximadamente. A partir desta data o crescimento anual do PIB manteve-se, com algumas excepções nomeadamente nos anos 2012 e 2013 devido à crise económica que se fez sentir. Contrariamente, as emissões de CO₂ têm vindo a diminuir, mais acentuadamente, a partir de 2005, entre outras causas, devido ao aumento da eficiência energética e a redução das emissões associadas ao sector electroprodutor.

A figura 4.3 traduz a evolução da produção de electricidade e do PIB ao longo do tempo. Nos primeiros 20 anos verifica-se que o PIB seguia a tendência da produção de electricidade, no caso, até 1980, electricidade renovável (maioritariamente hidroeléctrica). Verifica-se que a produção bruta de electricidade fóssil foi aumentando, ainda que com variações acentuadas, entre 1960 e 2005. Estas variações eram fortemente influenciadas pela hidraulicidade registada, sendo que a anos secos com menor produção hídrica correspondia maior produção fóssil e contrariamente em anos húmidos correspondia maior geração renovável. As condições hidrológicas são observadas na figura 4.2 através do [Índice de Produtibilidade Hídrica \(IPH\)](#) que, como se verifica, apresenta uma linha de tendência semelhante à tendência da produção de electricidade renovável. Este facto é explicado pois

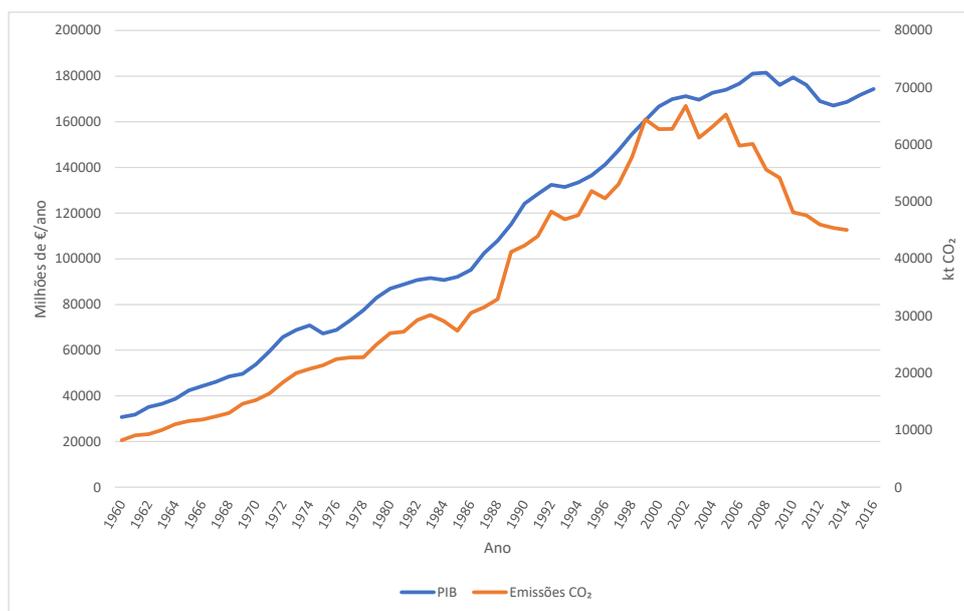


Figura 4.1: Evolução do PIB e das emissões de CO₂ ao longo do tempo. Fonte: Pordata (2018b) e World Bank (2018a)

grande parte da produção de electricidade renovável era derivada da hidroelectricidade.

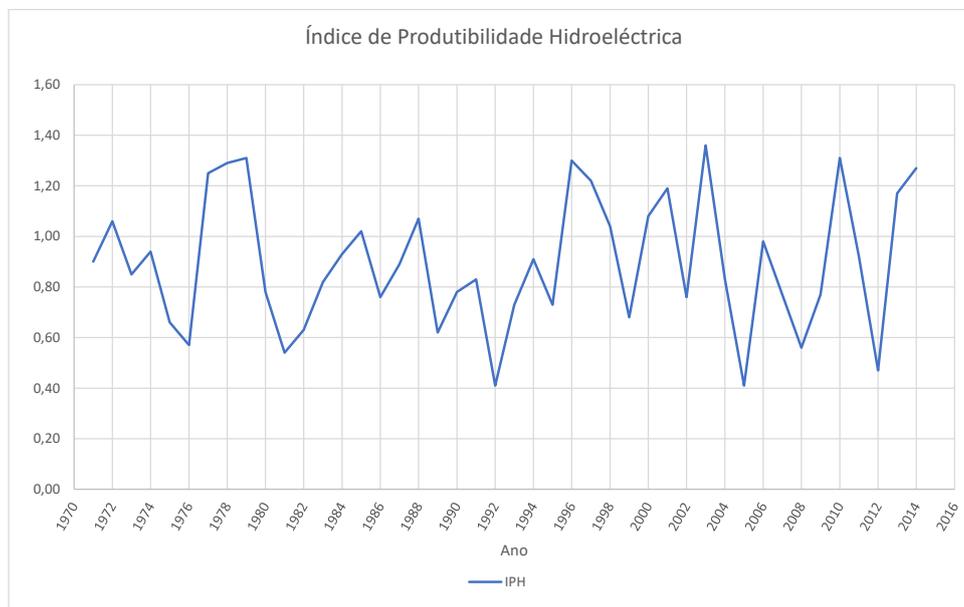


Figura 4.2: Índice de Produtibilidade Hidroelétrica. Fonte: REN (2018)

A partir de 2005, e face ao aumento da produção de electricidade a partir de eólica verificou-se uma diminuição significativa da produção fóssil que voltou a aumentar ligeiramente em 2015, devido a um ano extremamente seco com uma produtividade

hidroeléctrica muito reduzida.

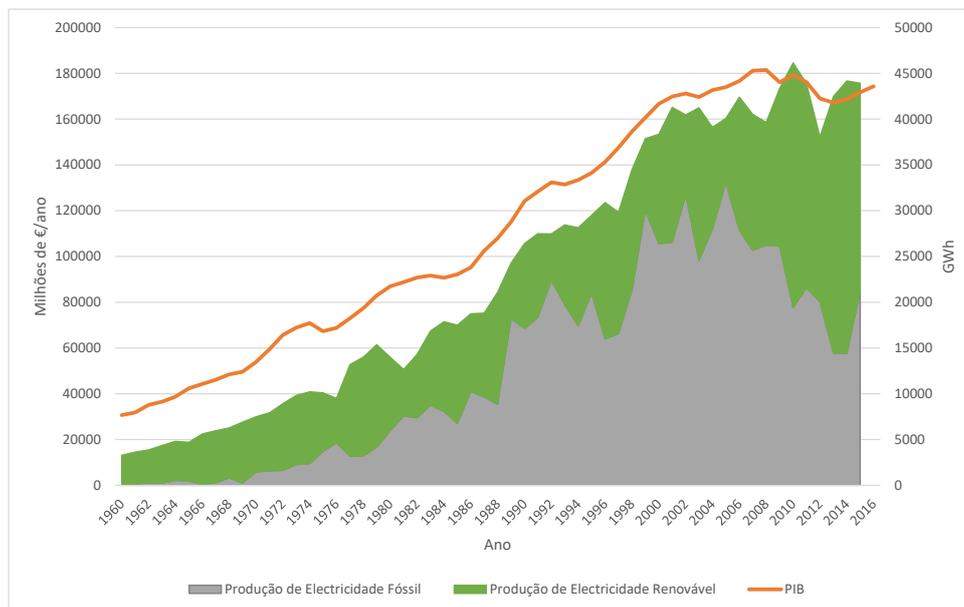


Figura 4.3: Evolução da produção de electricidade e do PIB ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a), IEA (2016b) e Pordata (2018b)

Pelo contrário, e como se observa através da figura 4.4, a produção bruta de electricidade renovável apresenta uma tendência positiva desde 1960, ainda que com variações significativas ao longo dos anos associadas às condições hidrológicas. Nos últimos anos, ainda que a produtividade hidroeléctrica seja maioritária, existe já um maior peso de outras tecnologias renováveis na produção de electricidade.

O aumento mais acentuado ocorre a partir de 2005 devido ao acréscimo significativo de capacidade instalada eólica que aumenta de 537 MW em 2004 para 1047 MW em 2005 e, posteriormente, 1681MW em 2006 (DGEG, 2012).

A figura 4.5 apresenta uma comparação entre a produção bruta de electricidade renovável e de electricidade fóssil entre os anos de 1960 e 2015. Observa-se que até ao ano de 1980 a percentagem de energia renovável produzida era muito elevada, sendo sempre superior a 50%. Este facto devia-se à produção de energia hídrica que representava a maior parte da energia produzida após a promulgação da Lei n.º 2002, de 26 de Dezembro de 1944, que dava preferência à hidroelectricidade.

A partir de 1980 esta situação alterou-se e as fontes de energia fósseis ganharam maior peso na produção de energia. Esta situação é explicada pela expansão das centrais termoeléctricas a partir do 1979 e pela entrada do gás natural como fonte complementar de energia em 1997. Entre os anos de 1988 e 2010, mais de 50% na energia eléctrica produzida provinha de fontes de energia fóssil.

Em 27 de Setembro de 2001 é publicada a Directiva 2001/77/CE do Parlamento Europeu que promove a produção de electricidade renovável no mercado interno de

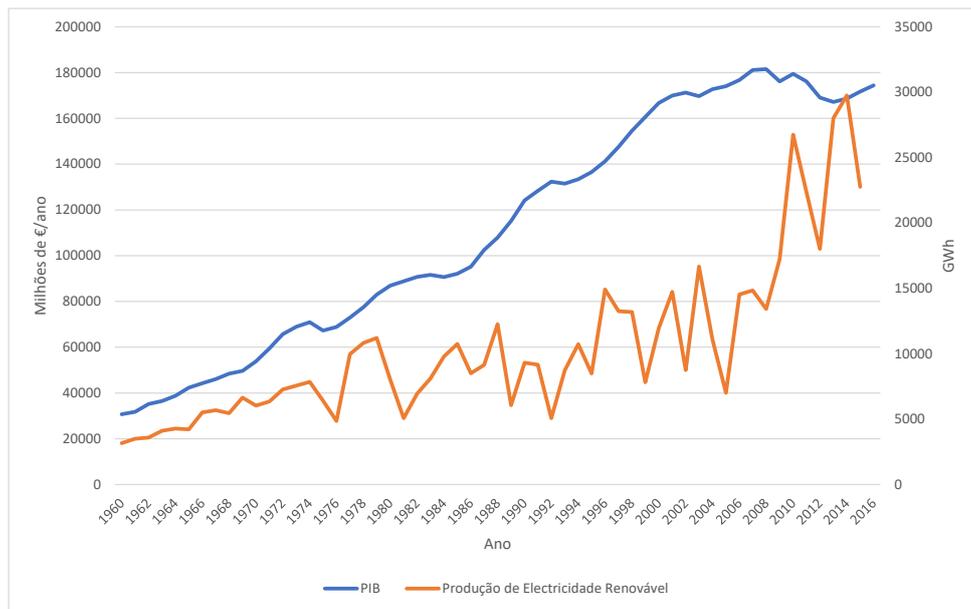


Figura 4.4: Evolução do PIB e da produção bruta de electricidade renovável ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a) e Pordata (2018b)

electricidade. Desta feita, a partir de 2010 e até então, a produção bruta de electricidade renovável cresceu muito positivamente. A tendência é que a produção renovável aumente devido à aposta nas energias renováveis, que derivam maioritariamente dos objectivos que Portugal se propôs a nível do consumo de energia renovável e redução das emissões.

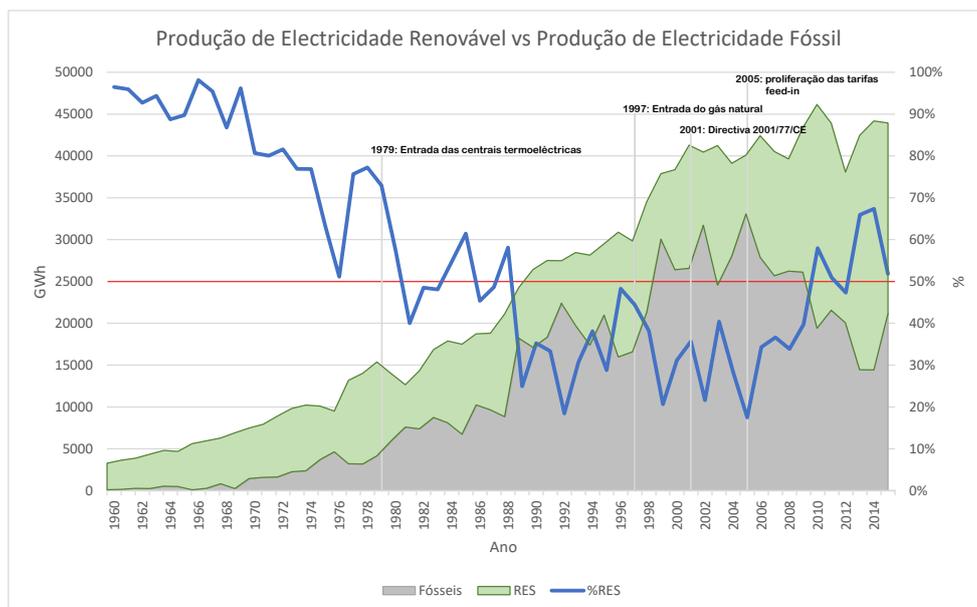


Figura 4.5: Produção bruta de energia renovável e não renovável ao longo do tempo. Fonte: IEA (2018a)

As centrais hidroeléctricas, como se observa na figura 4.6, estão notoriamente presentes na produção de electricidade nacional desde 1960, e o seu peso na factura eléctrica tem vindo a crescer. Para tal, contribui o apoio das políticas à energia hidroeléctrica que ocorreu nos anos 2000 através da construção e do reforço de potência das barragens hidroeléctricas.

É possível observar também uma evolução muito significativa da produção de energia eólica, sendo, actualmente a segunda tecnologia renovável mais utilizada em Portugal, logo após a hídrica mencionada anteriormente. O seu crescimento foi mais pronunciado a partir de 2005 e é justificado pela publicação do Decreto-Lei n.º 33-A/2005, de 16 de Fevereiro, o qual reviu os valores do cálculo da remuneração de electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis, e os prazos necessários para garantir o retorno dos investimentos, nomeadamente em energia eólica. Comparativamente, a energia solar fotovoltaica, geotérmica e os biocombustíveis sólidos têm ainda pouca expressão na produção nacional de electricidade renovável, ainda que a capacidade instalada de solar fotovoltaico tenha crescido em média 76%/ano entre 2005 e 2013 (DGEG, 2013) com expectativa de manter a tendência de crescimento face ao forte decréscimo muito acentuados dos custos de investimento que a tecnologia sofreu nos últimos anos.

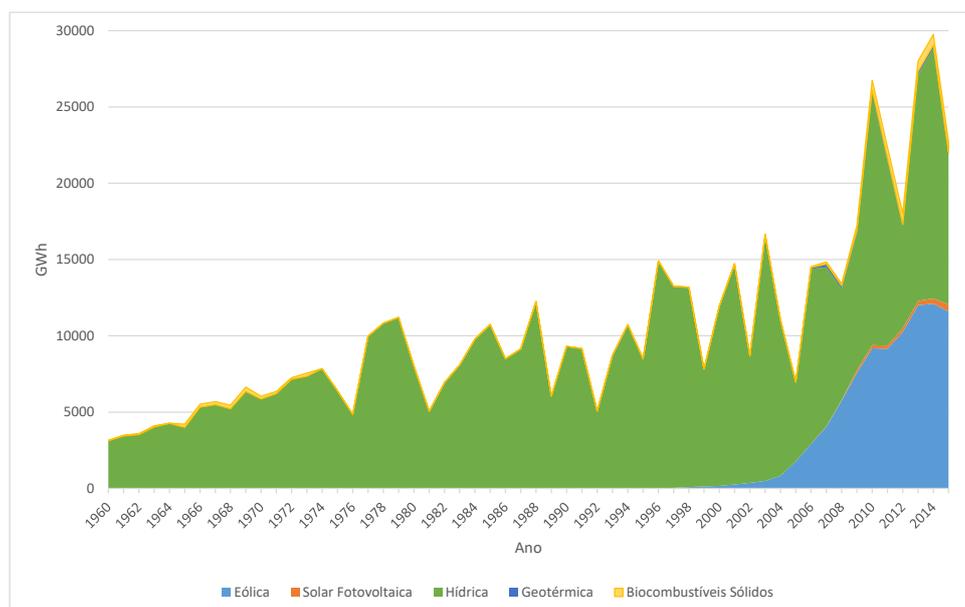


Figura 4.6: Produção bruta de energia renovável, por fonte de energia, ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a)

Nos últimos anos tem ocorrido um intenso debate sobre os efeitos do aumento das renováveis no emprego. Inúmeros estudos, inclusive da própria Comissão Europeia, alegam que as renováveis acarretam impactos positivos a nível da empregabilidade (Comissão Europeia, 2016b; Tsangyao et al., 2001), ao passo que outros autores são mais cautelosos alegando que a relação poderá não ser directa (Jesus, 2011). A figura 4.7 mostra a evolução

da produção de electricidade renovável e do emprego no sector da produção e distribuição de electricidade, gás, vapor e ar frio, de acordo com a lista [Classificação Portuguesa das Actividades Económicas \(CAE\)](#), variável doravante designada por emprego no sector electroprodutor (INE, 2014).

Importa referir que as renováveis poderão induzir: i) emprego directo, i.e., que ocorre directamente no sector da geração de electricidade, ii) emprego indirecto, gerado por outros sectores económicos que fornecem bens e serviços para a construção, instalação, operação e manutenção da geração de electricidade renovável (por exemplo o emprego no sector da construção) e iii) emprego induzido, quando o emprego directo e indirecto geram riqueza, o que leva a um maior consumo de bens em outros sectores do total da economia (exemplo: têxteis, alimentação e bebidas, educação) e consequentemente um aumento do emprego total. Na presente dissertação e dado a metodologia utilizada, apenas é considerado o emprego directo no sector electroprodutor.

Como se pode observar (figura 4.7), em Portugal não existe uma relação clara entre a geração de electricidade renovável e o emprego no sector electroprodutor. Aliás, verifica-se uma relação inversa entre estas duas variáveis a partir do início dos anos 2000. Refira-se que o emprego no sector da electricidade também engloba o sector do gás natural e que pode justificar a inconclusividade das conclusões obtidas face a este tema.

Note ainda que, a redução abrupta que se verifica no emprego no sector electroprodutor em 1995 se deve à fonte de obtenção de dados desta variável, pois o dados de 1960-1994 provêm do (Banco de Portugal, 2018) e os dados de 1995-2014 foram obtidos através do (Pordata, 2018a).

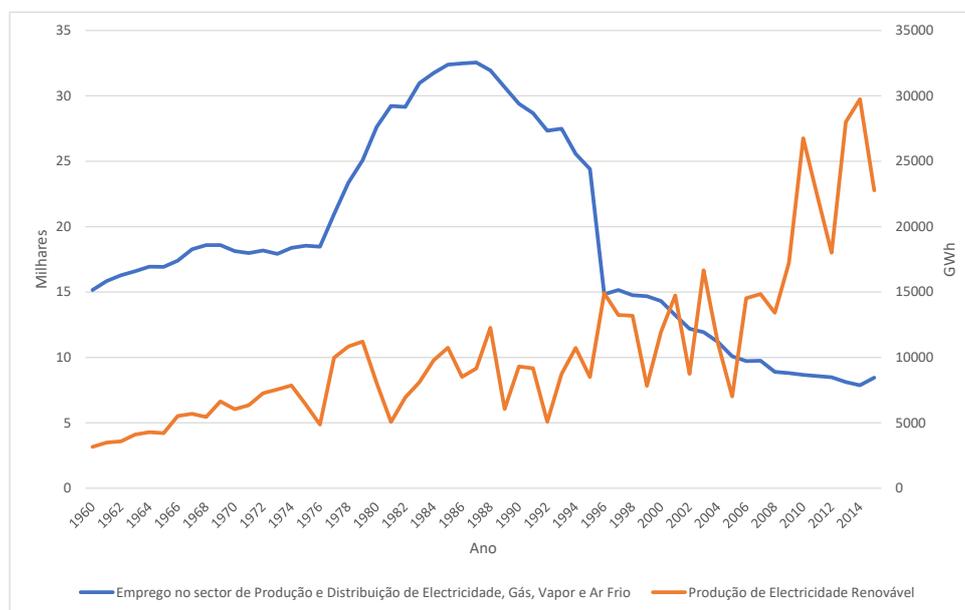


Figura 4.7: Evolução da produção bruta de energia renovável e do emprego no sector da produção e distribuição de electricidade, gás, vapor e ar frio. Banco de Portugal (2018), IEA (2016a) e Pordata (2018a)

Já a figura 4.8 demonstra o comportamento da produção de electricidade, fazendo a distinção entre fontes renováveis e não renováveis, e das emissões totais de CO₂. Observa-se que o comportamento destas duas variáveis ao longo do tempo é semelhante, pois, o sector electroprodutor é aquele que mais contribui para a emissão de gases em Portugal (cerca de 26% do total das emissões). É entre 2000 e 2006 que se verificam os valores mais elevados de emissões de CO₂, coincidindo com a maior produção de electricidade fóssil. Devido à aposta na produção de electricidade renovável, as emissões de CO₂ decrescem significativamente a partir de 2006 e até à data (APA, 2018b).

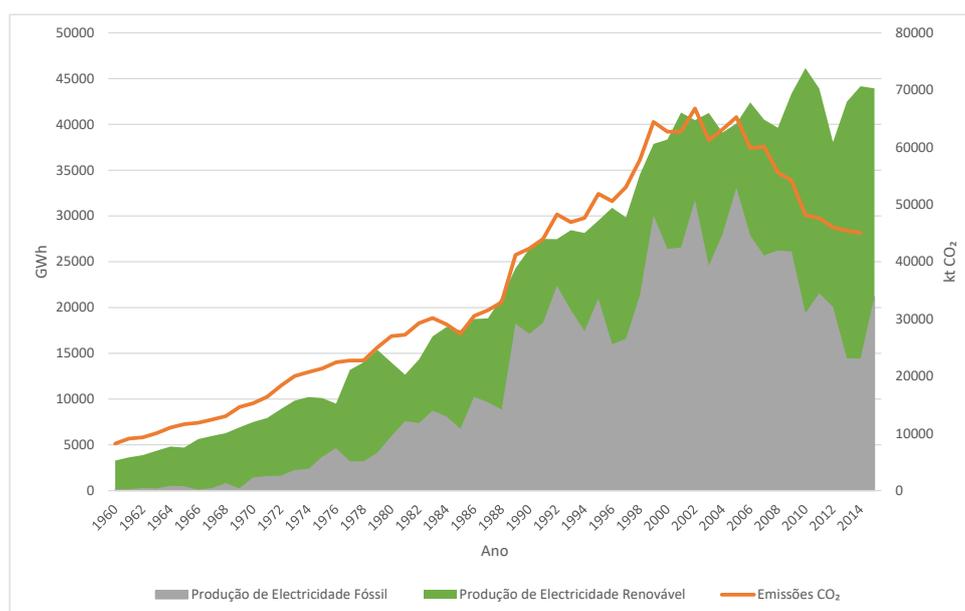


Figura 4.8: Evolução da produção de electricidade renovável e fóssil e das emissões de CO₂ ao longo do tempo. Fonte: IEA (2016a), IEA (2016b) e World Bank (2018a)

Na secção seguinte apresentam-se os resultados obtidos a partir dos testes económicos realizados.

4.2 Resultados Obtidos

As variáveis utilizadas neste estudo foram previamente transformadas na sua forma logarítmica e, pode antecipar-se que as variáveis serão não-estacionárias. Assim, cada variável foi diferenciada, obtendo-se o valor da diferença entre uma observação e a que lhe antecede, até se obter uma série estacionária.

4.2.1 Testes de raiz unitária (1960-2014)

A estacionariedade das variáveis foi verificada pela realização do teste de raiz unitária ADF. Este teste foi realizado para o logaritmo natural (ln) das variáveis em estudo e para a sua primeira diferença. Tipicamente são utilizados 1 ou 2 desfasamentos para

séries anuais. Neste caso o teste foi realizado para 1 desfasamento e para os modelos: sem constante, com constante e com constante e tendência, como apresentado anteriormente nas equações 3.3, 3.4 e 3.5.

Como se pode verificar na tabela 4.1, as variáveis não apresentam estacionariedade na sua forma logarítmica (ln). Quando diferenciadas, todas as variáveis se tornam estacionárias. Assume-se que todas as variáveis são integradas de ordem 1: I(1). Os resultados, sob a forma de *p-value*, podem observar-se na tabela seguinte 4.1.

Tabela 4.1: Resultados obtidos no teste ADF (valores de *p-value*) considerando as variáveis transformadas (em nível ln), as respectivas primeiras diferenças e 1 desfasamento.

	Variáveis	<i>p-value</i>		
		Sem constante	Com constante	Com constante e tendência
1 desfasamento	ln_PIB	0,9954	0,0223	0,9044
	ln_Emissões CO ₂	0,9959	0,0129	0,9995
	ln_Emprego	0,3615	0,9482	0,9008
	ln_Electric Renovável	0,9530	0,5955	0,0003
	d_ln_PIB	0,0089	0,0064	0,0010
	d_ln_Emissões CO ₂	0,0022	$5,915e^{-6}$	$4,265e^{-7}$
	d_ln_Emprego	0,0005	0,0076	$1,205e^{-5}$
	d_ln_Electric Renovável	$1,414e^{-17}$	$4,934e^{-19}$	$3,38e^{-19}$

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

Os resultados mostram-se favoráveis quando considerado 1 desfasamento nesta análise. Realizou-se também o teste ADF considerando 2 desfasamentos (anexo I) para adicionar robustez à análise, todavia os resultados desta versão não apresentam alterações significativas face aos obtidos com 1 desfasamento.

4.2.2 Correlogramas Cruzados (1960-2014)

Verificada a estacionariedade das variáveis, procedeu-se à avaliação do correlograma cruzado (*cross correlogram*) das variáveis em estudo, com vista a prever a existência ou inexistência de correlação entre variáveis. São apresentados os gráficos gerados pelos correlogramas cruzados dos pares de variáveis em primeiras diferenças considerando 2 desfasamentos. Nesta fase, sublinha-se que 1 desfasamento representa 1 período de tempo. As correlações que se seguem foram elaboradas para 2 desfasamentos. Desta forma foi possível elaborar um estudo prévio da correlação entre as variáveis analisando um intervalo temporal que engloba 2 períodos de tempo anteriores e posteriores, face ao período $t = 0$.

Correlação entre o PIB e a Produção de Electricidade Renovável

A figura (4.9) mostra o correlograma cruzado entre as variáveis PIB e Produção de Electricidade Renovável. O gráfico mostra que a correlação entre duas variáveis será estatisticamente igual a zero. Ou seja, as variáveis à partida não se correlacionam. Ainda assim, observa-se que o período $t = -2$ destaca-se dos restantes. Contudo, este mostra que, a haver correlação entre estas duas variáveis, um aumento do PIB em $t = 0$ resulta num decréscimo da produção de electricidade renovável dois períodos depois.

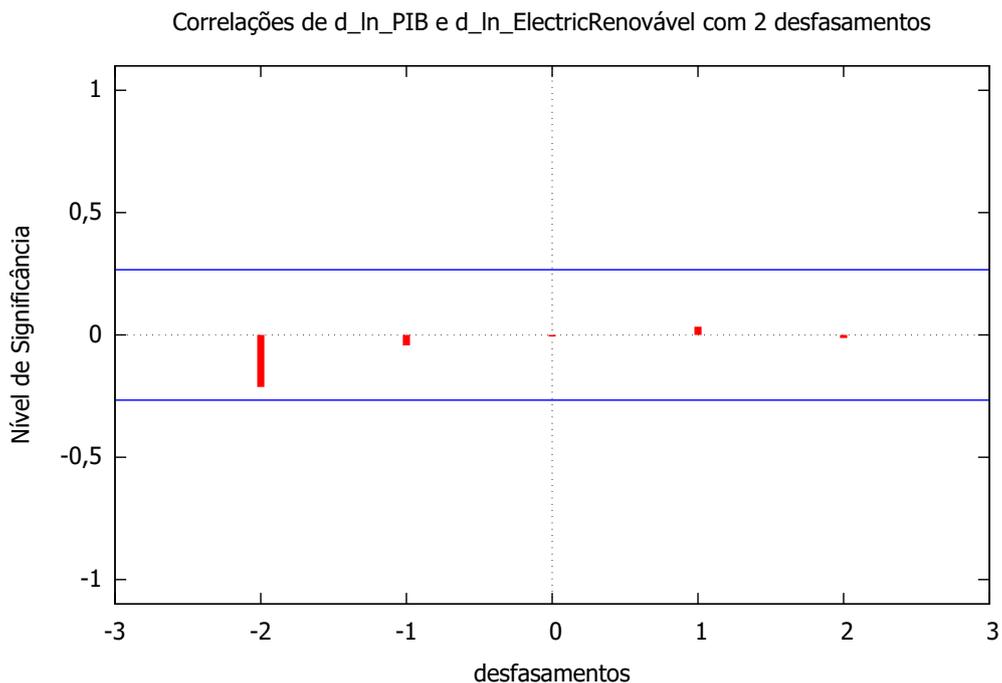


Figura 4.9: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e da Produção de Electricidade Renovável.

Correlação entre o PIB de as Emissões totais de CO₂

Ao contrário do que acontece com os correlogramas anteriores, a figura 4.10 mostra que as variáveis PIB e Emissões de CO₂ serão estatisticamente diferentes de 0, o que quer dizer, que se prevê que estas variáveis se correlacionem. Por observação do correlograma, conclui-se que esta correlação ocorre nos períodos -2, -1, 0 e 1. A variável PIB pode ser considerada uma variável avançada face à variável Emissões de CO₂. Desta forma, o aumento do PIB num período conduz ao aumento das emissões nesse mesmo período e nos dois períodos seguintes.

Correlação entre as Emissões totais de CO₂ e a Produção de Electricidade Renovável

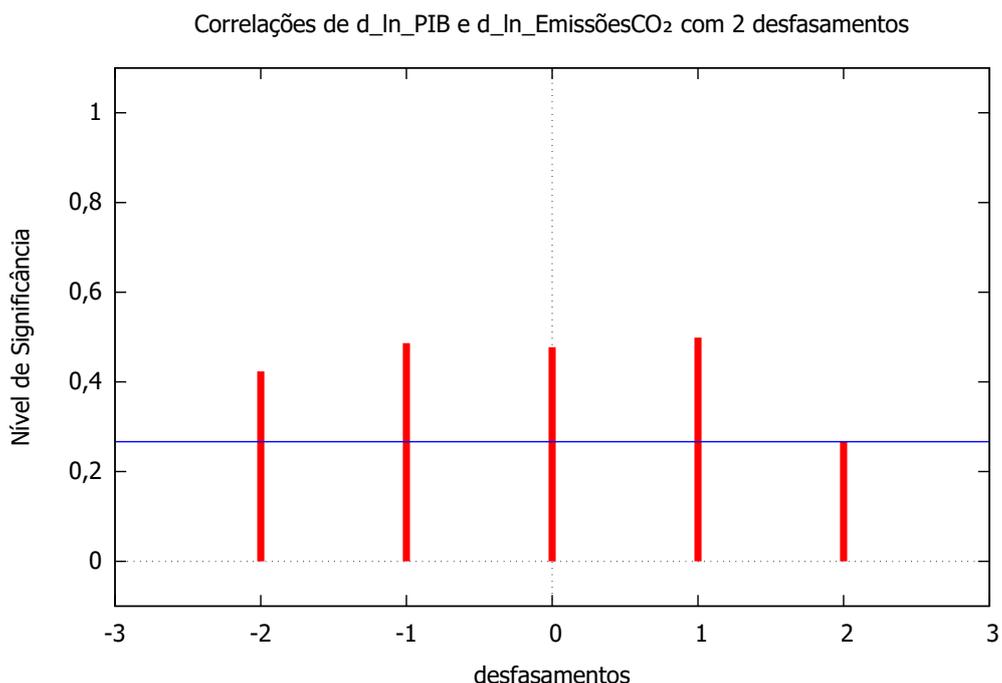


Figura 4.10: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e das Emissões de CO_2 .

Na figura 4.11 observa-se o correlograma cruzado entre as variáveis Emissões de CO_2 e Produção de Electricidade Renovável. A correlação entre as variáveis não é significativa com excepção no período $t = 0$, significando que um aumento da produção de electricidade renovável num determinado período se traduz numa redução das emissões de CO_2 nesse mesmo período. Esta é uma relação que se espera verdadeira do ponto de vista ambiental, contudo, tem menos expressão nos outros períodos de tempo.

Correlação entre o Emprego no Sector Electroprodutor e a Produção de Electricidade Renovável

A figura 4.12 mostra o correlograma cruzado entre as variáveis Emprego no Sector Electroprodutor e a Produção de Electricidade Renovável. A partir do correlograma prevê-se que estas duas variáveis não se correlacionem. E, ao contrário do que se observou nos correlogramas anteriores, não existem períodos que se destaquem.

Correlação entre o PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor

A figura 4.13 corresponde ao correlograma cruzado entre as variáveis PIB e Emprego no Sector Electroprodutor. Como se pode observar, também esta correlação se mostra estatisticamente igual a zero, prevendo que não haja correlação. Ainda assim os períodos de desfasamento considerados têm alguma expressão. Neste caso, o PIB será uma variável avançada face ao Emprego no Sector Electroprodutor.

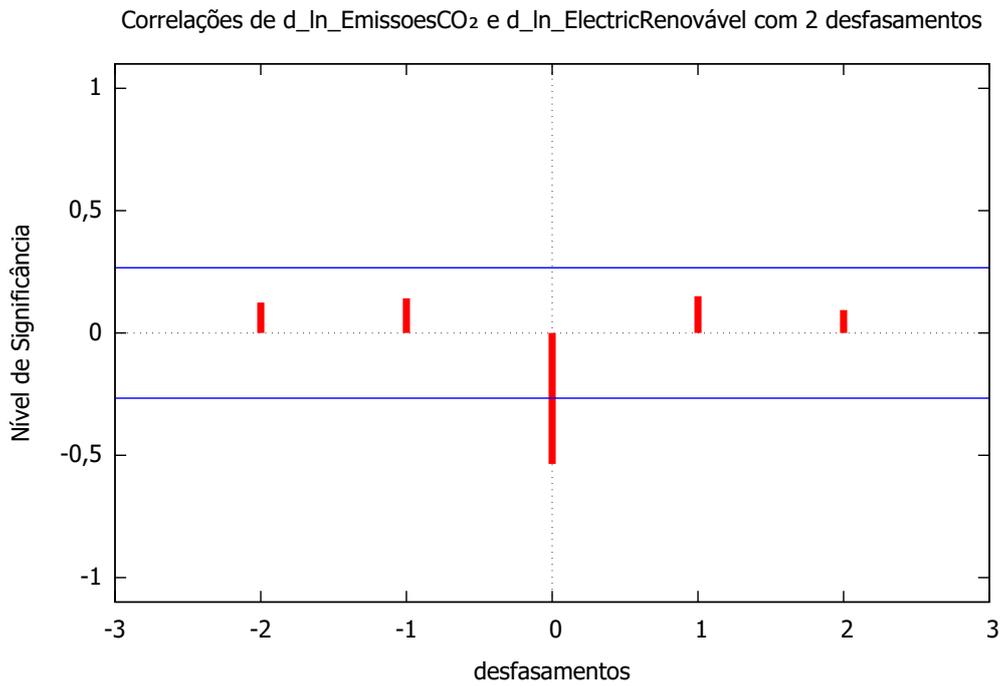


Figura 4.11: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e das Emissões de CO_2 .

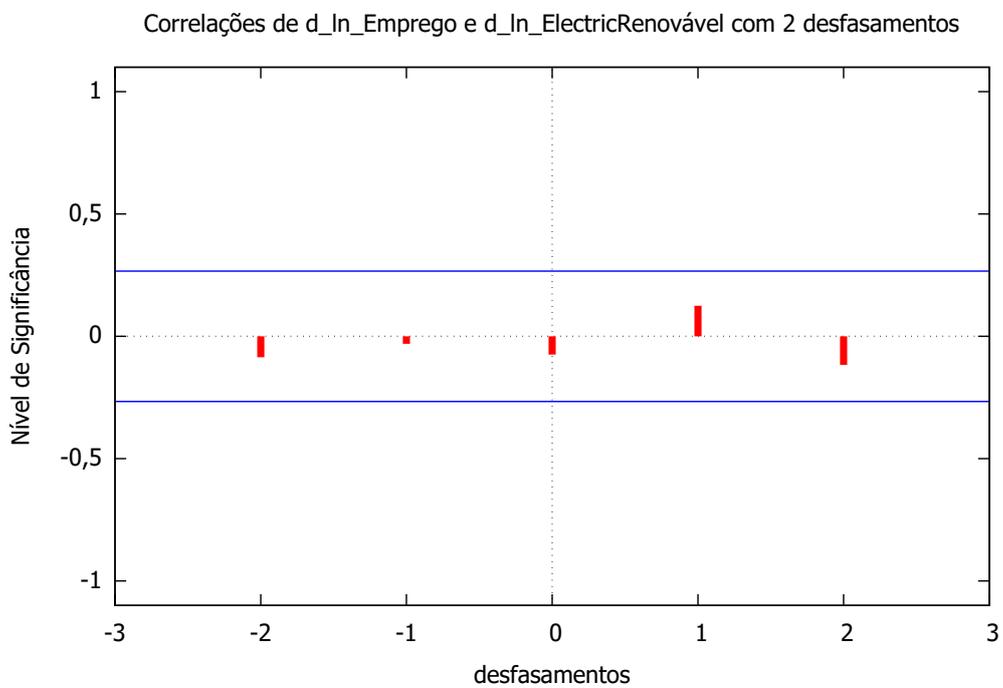


Figura 4.12: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e o Emprego no Sector Electroprodutor.

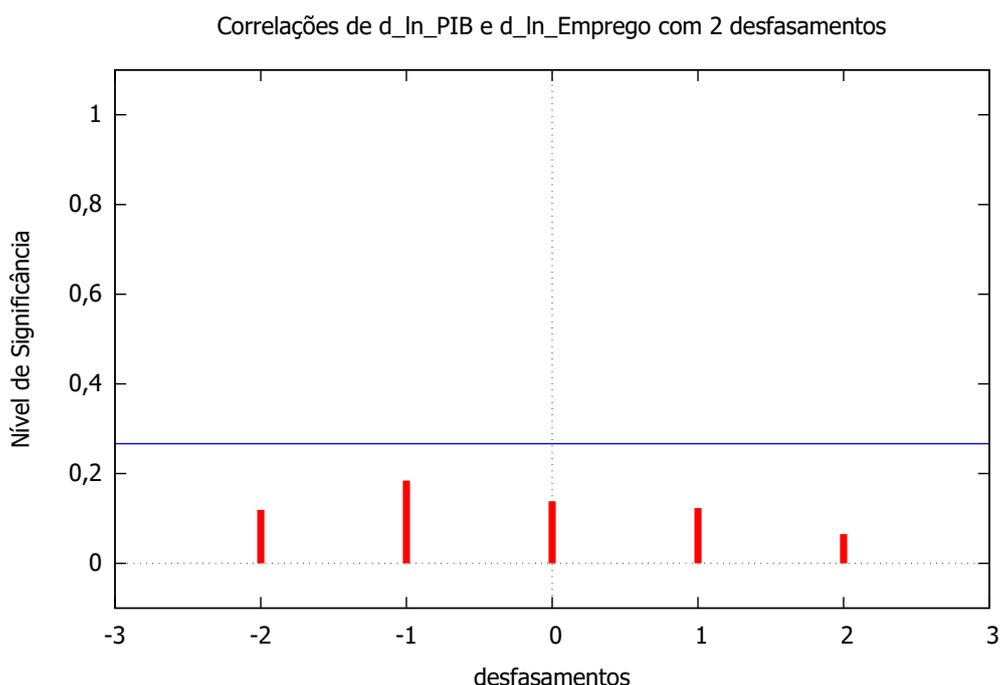


Figura 4.13: Correlograma cruzados entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor.

Ainda que os correlogramas cruzados não tenham mostrado correlações evidentes entre as variáveis, no passo seguinte serão realizados testes de causalidade que pretendem verificar se as variáveis se correlacionam ou não.

4.2.3 Testes de causalidade (1960-2014)

Esta secção mostra os resultados obtidos para os testes de causalidade que foram executados. Estes testes foram realizados para equações de três variáveis, como mencionado na secção 3.2.4 do capítulo 3.

Ao contrário dos testes realizados anteriormente, e sabendo que as variáveis em estudo são integradas de ordem 1, são estimados modelos VAR não-estacionários considerando as variáveis em nível logarítmico - ln. Desta forma, *a priori*, o número de desfasamentos mais adequado será 1 ($p = 1$). O número de desfasamentos será validado pelo teste de auto-correlação realizado mais adiante.

Inicialmente foram estimados, para o intervalo de tempo de 1960 a 2014, dois modelos VAR correspondentes aos conjuntos de variáveis:

- A. PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emissões totais de CO₂;
- B. PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emprego no Sector Electroprodutor.

De acordo com os resultados (tabela 4.2), o conjunto A estimado apresenta auto-correlação dos seus resíduos, significando que o modelo não é adequado e não é possível

extrair conclusões verosímeis sobre as relações de causalidade - este modelo é rejeitado. Ao contrário, o conjunto B parece ser adequado pois não apresenta auto-correlação dos resíduos para 1 e 2 desfasamentos. Todavia, de acordo com o modelo estimado e para um grau de confiança de 95%, não existem relações de causalidade entre as variáveis tidas em conta. Os resultados dos testes de auto-correlação que corroboram esta decisão apresentam-se na tabela 4.2.

Tabela 4.2: Resultados obtidos nos testes de auto-correlação dos resíduos dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.

<i>p-value</i>		
Desfasamentos	A. PIB, Electric Renovável, Emissões CO ₂	B. PIB, Electric Renovável, Emprego Sector Electroprodutor
1	0.0423	0.4022
2	0.0228	0.1013
3	0.0351	0.0581
4	0.0015	0.0023

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

De seguida, nas tabelas 4.3 e 4.4, apresentam-se os resultados obtidos para o conjunto B no VAR estimado, mostrando apenas as relações de causalidade de maior interesse no âmbito desta dissertação. Na tabela 4.3 pode observar-se que não existe relação de causalidade entre o emprego no sector electroprodutor e o PIB. O mesmo se verifica entre a produção de electricidade renovável e o emprego no sector electroprodutor (tabela 4.4).

B. PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emprego no Sector Electroprodutor

Foram também realizados testes de normalidade com vista a aferir sobre a existência de possível co-integração entre as variáveis em estudo para cada um dos modelos estipulados. Os resultados obtidos no teste de normalidade indicam que não haverá co-integração das variáveis em nenhum dos conjuntos desta análise, como se verifica na tabela 4.5.

Como referido anteriormente, os modelos VAR inicialmente estimados não prevêem a existência de relações de causalidade ou de co-integração das variáveis presentes nesta

Tabela 4.3: Relações de causalidade do conjunto B face ao PIB.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_Emprego Sector Electroprodutor	-0,0369	0,4566

Tabela 4.4: Relações de causalidade do conjunto B face ao Emprego no Sector Electroprodutor.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_Electric Renovável	0,0527	0,2412

Tabela 4.5: Resultados obtidos no teste de normalidade dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.

Teste de Normalidade - Doornik-Hansen		
	A. PIB, Electric Renovável, Emissões CO ₂	B. PIB, Electric Renovável, Emprego Sector Electroprodutor
<i>p-value</i>	0.0022	0.0000

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

dissertação, ainda que, como estudado na secção 4.1, estas variáveis possam partilhar alguns períodos semelhantes. A ausência de relações causais pode ser derivada por alguns pontos fulcrais de algumas variáveis que alteraram o seu regime, nomeadamente, a elevada produção de electricidade renovável a partir de hidroeléctricas que ocorreu entre os anos de 1960 e 1979, posteriormente a entrada das centrais termoeléctricas que alterou o papel das renováveis e, posteriormente, o surgimento de novas tecnologias de fontes renováveis a partir de 2005. Estes factores podem ter contribuído para alterar significativamente o comportamento das séries utilizadas. Assim, foi estimado o mesmo modelo VAR, considerando apenas a sucessão cronológica entre 1980-2014. Para elaborar a análise considerando este novo intervalo de tempo realizaram-se novamente os testes de raiz unitária e os correlogramas cruzados entre as variáveis.

4.2.4 Testes de raiz unitária (1980-2014)

Os resultados do teste de raiz unitária ADF mostram que as variáveis são também integradas de ordem 1 e podem ser consultados na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Resultados obtidos no teste ADF (valores de *p-value*) considerando as variáveis transformadas (em nível ln), as respectivas primeiras diferenças e 1 desfasamento.

	Variáveis	<i>p-value</i>		
		Sem constante	Com constante	Com constante e tendência
1 desfasamento	ln_PIB	0.9607	0.3602	0.9707
	ln_Emissões CO ₂	0,9415	0,3094	0,9945
	ln_Emprego	0,0225	0,9690	0,2421
	ln_Electric Renovável	0,9453	0,6613	0,0028
	d_ln_PIB	0,0362	0,1069	0,1132
	d_ln_Emissões CO ₂	$1.573e^{-5}$	0.0003	$9.806e^{-5}$
	d_ln_Emprego	$1.301e^{-5}$	$3.610e^{-5}$	0.0002
	d_ln_Electric Renovável	$2.295e^{-14}$	$2.118e^{-15}$	$6.367e^{-15}$

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

De seguida apresentam-se os correlogramas cruzados elaborados para a série 1980-2014.

4.2.5 Correlogramas Cruzados (1980-2014)

A análise dos correlogramas cruzados apresenta previsões semelhantes às anteriormente analisadas, sendo que, se verifica uma maior significância para a maioria das correlações elaboradas. Os resultados obtidos podem ser verificados de seguida.

Correlação entre o PIB e a Produção de Electricidade Renovável

A figura 4.14 representa o correlograma cruzado das variáveis PIB e Produção de Electricidade Renovável da série temporal de 1980 a 2014. À semelhança do que acontecia com o correlograma correspondente na série 1960-2014, a correlação entre as duas variáveis aparenta não ser muito significativa - é estatisticamente igual a 0. Contudo tem mais expressão do que o correlograma inicialmente elaborado. No caso de se comprovar a existência de correlação entre estas duas variáveis, é expectável que a variável PIB seja avançada face à Produção de Electricidade Renovável. Se ocorrer uma redução do PIB no período $t = 0$, gera-se um aumento da produção de electricidade renovável nos dois períodos seguintes.

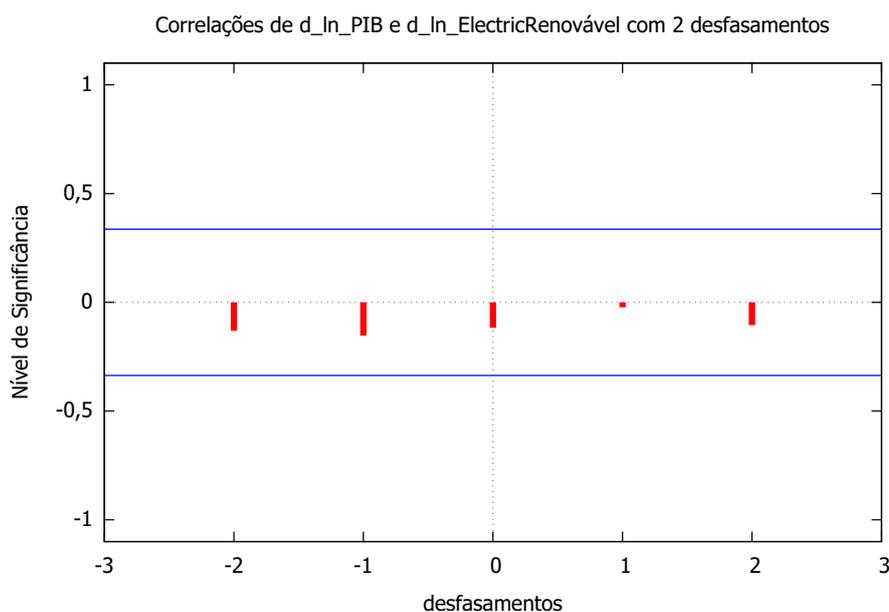


Figura 4.14: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e da Produção de Electricidade Renovável, considerando a série 1980-2014.

Correlação e o PIB de as Emissões totais de CO₂

Como se pode verificar na figura 4.15, o correlograma cruzado destas duas variáveis é semelhante quer para a série 1960-2014 como para a série 1980-2014, levando à mesma conclusão. As variáveis PIB e Emissões de CO₂ serão estatisticamente diferentes de 0, e por isso, prevê-se a existência de uma forte correlação entre elas.

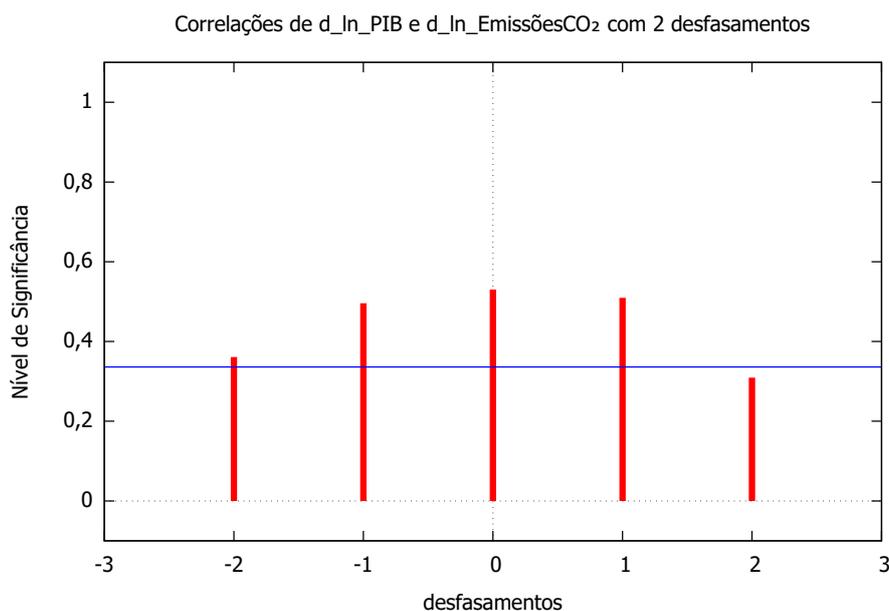


Figura 4.15: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e das Emissões de CO_2 .

Correlação entre a Produção de Electricidade Renovável e as Emissões de totais CO_2

O correlograma cruzado entre as variáveis Produção de Electricidade Renovável e Emissões de CO_2 é extremamente semelhante sejam consideradas as séries temporais 1960-2014 ou 1980-2014. Deste modo, e de acordo com a figura 4.15, verifica-se que se as emissões de CO_2 diminuíram num dado período, então a produção de electricidade renovável aumentou nesse mesmo período.

Correlação entre a Produção de Electricidade Renovável e o Emprego no Sector Electroprodutor

A figura 4.17 apresenta o correlograma cruzado entre as variáveis Emprego no Sector Electroprodutor e a Produção de Electricidade Renovável. Também este correlograma é semelhante ao correlograma elaborado para a série temporal 1960-2014, mostrando que estas variáveis não apresentam correlação significativa entre elas, e não existem períodos de destaque.

Correlação entre o PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor

A figura (4.18) demonstra o correlograma cruzado entre as variáveis PIB e Emprego no Sector Electroprodutor. Estas são as variáveis que apresentam menos significância, considerando uma possível correlação. Deve salientar-se que este correlograma apresenta resultados distintos do correlograma elaborado para a série 1960-2014. Nota-se um aumento da relação entre as variáveis da série 1980-2014 face à série 1960-2014.

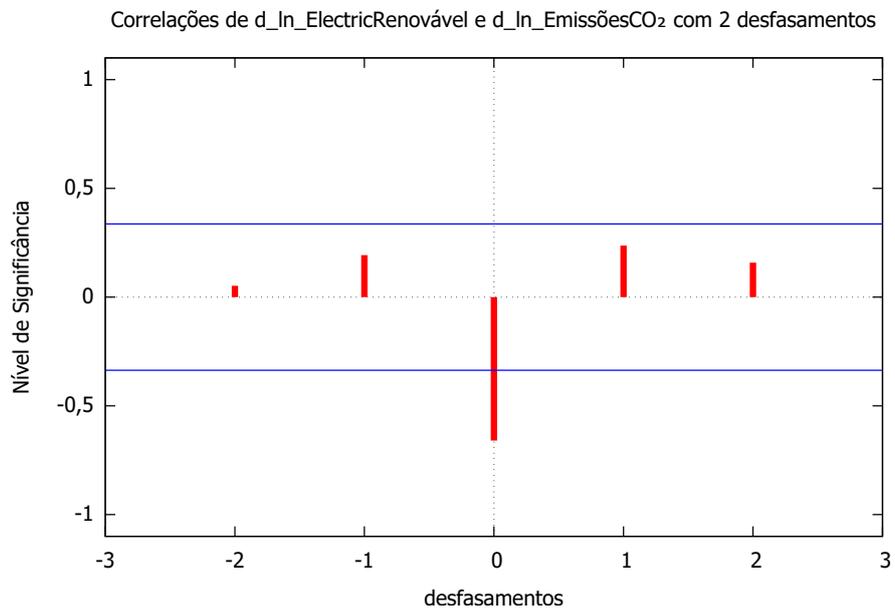


Figura 4.16: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e das Emissões de CO₂.

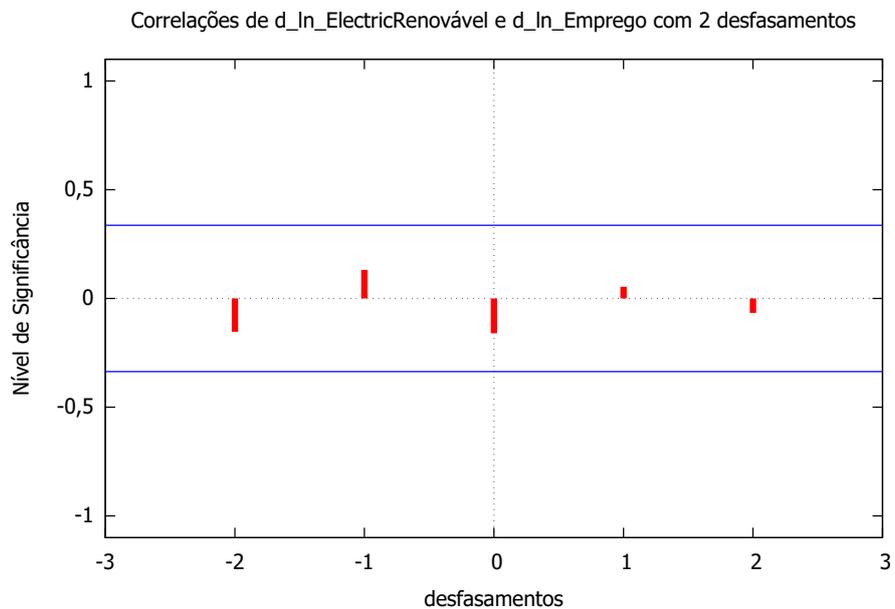


Figura 4.17: Correlograma cruzado entre as primeiras diferenças do logaritmo da Produção de Electricidade Renovável e o Emprego no Sector Electroprodutor.

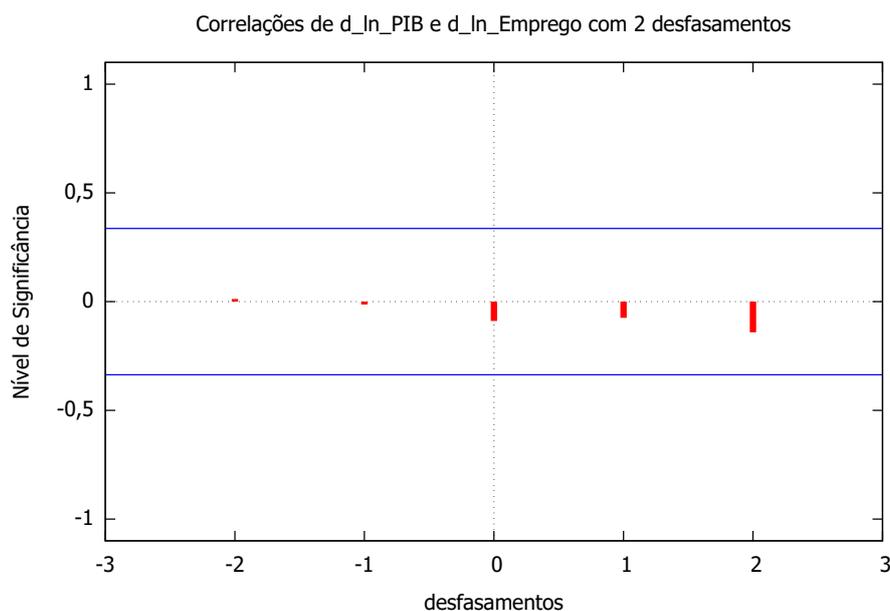


Figura 4.18: Correlograma cruzados entre as primeiras diferenças do logaritmo de PIB e o Emprego no Sector Electroprodutor.

4.2.6 Testes de causalidade (1980-2014)

De modo a testar a validade dos modelos VAR estimados, nomeadamente o número de defasamentos a utilizar, realizaram-se novamente os testes de auto-correlação dos erros para os conjuntos em estudo A e B, para a série 1980-2014. Os testes de auto-correlação realizados mostram, de acordo com o previsto, que o número de defasamentos adequado às séries temporais em estudo é 1. Os resultados apresentam-se na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resultados obtidos nos testes de auto-correlação dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1980-2014.

Desfasamentos	<i>p-value</i>	
	A. PIB, Electric Renovável, Emissões CO ₂	B. PIB, Electric Renovável, Emprego Sector
1	0.0766	0.2027
2	0.0441	0.0554
3	0.0361	0.0217
4	0.0567	0.0420

Sendo este um modelo VAR não-estacionário, e segundo o método de estimação $VAR(p + d)$, foi estimado um VAR(2). As relações de causalidade relevantes neste estudo apresentam-se de seguida.

Tabela 4.8: Relações de causalidade do conjunto A face ao PIB.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_Electric Renovável	0,0431	0,0190

Tabela 4.9: Relações de causalidade do conjunto A face às emissões de CO₂.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_PIB	0,9915	0,0879
ln_Electric Renovável	0,0961	0,0733

A. PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emissões totais de CO₂

Os resultados expressos na tabela 4.8 mostram que, com 95% de confiança, existe uma relação de causalidade entre a produção de electricidade renovável e o PIB. Através do valor do coeficiente estimado é possível saber o sentido da relação de causalidade. Uma vez que o coeficiente é positivo, conclui-se que, se a produção de electricidade renovável aumentar "hoje", o PIB aumentará (em proporção) "amanhã". Este é um resultado que mostra o apoio das políticas nacionais às energias renováveis e, particularmente, à electricidade renovável.

Do ponto de vista dos objectivos traçados, para a promoção e desenvolvimento das energias renováveis, este é um dado muito interessante pois, significa que um incentivo à aposta nacional em electricidade renovável pode igualmente contribuir para o crescimento económico.

Já para os resultados obtidos face às emissões de CO₂, cujos resultados são apresentados na tabela 4.9, verifica-se que, para um nível de confiança de 95%, não existe relação de causalidade entre as variáveis PIB e Produção de Electricidade Renovável e as Emissões de CO₂. Porém, considerando um nível de confiança de 90%, é possível aceitar uma relação de causalidade entre as variáveis PIB e Produção de Electricidade Renovável e as Emissões de CO₂. Considerando a variável PIB, esta é uma relação que poderá mostrar-se verdadeira uma vez que, se os sectores económicos que mais contribuem para o aumento do PIB forem também emissores, estes podem contribuir para a existência de uma relação de causalidade entre as variáveis. Do ponto de vista ambiental isso significa que, as emissões de gases poluentes provenientes da indústria, da construção, dos serviços e de outros sectores económicos, que influenciam o crescimento económico, apresentam, conseqüentemente, uma relação de causalidade. Importa referir que devido ao crescimento da energia térmica e ao aumento do transporte privado a intensidade carbónica do PIB aumentou entre 1980 e 1992, cerca de 23%, estabilizando logo após esse período até 2005 (DGEG, 2015). Com o surgimento de mais electricidade renovável nos últimos anos tem ocorrido um “decoupling” entre crescimento económico e emissões de CO₂ (Antunes, 2014). Já a Produção de Electricidade Renovável, sendo considerada uma energia limpa, poderá não apresentar uma relação de causalidade significativa com as Emissões de CO₂.

Tabela 4.10: Relações de causalidade do conjunto B face ao PIB.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_Emprego Sector Electroprodutor	-0,01331	0,7853

Tabela 4.11: Relações de causalidade do conjunto B face ao Emprego no Sector Electroprodutor.

	Coeficiente	<i>p-value</i>
ln_Electric Renovável	-0,0003	0,9955

B. PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emprego no Sector Electroprodutor

A partir dos resultados da tabela 4.10 conclui-se que o Emprego no Sector Electroprodutor não apresenta relação de causalidade face ao PIB, verificando a ausência de correlação neste conjunto de variáveis como havia sido estudado na secção 4.2.2. Esta ausência de relação de causalidade pode ser justificada pelo facto do emprego no sector electroprodutor ser uma ínfima parte do emprego nacional, e consequentemente, não ter um peso significativo no crescimento do PIB. De facto, em Portugal, a produção de riqueza a partir de fontes renováveis acontece sobretudo durante as fases de produção e utilização de energia, pois a maioria da tecnologia utilizada até à data é importada (Antunes, 2014).

Por fim, verifica-se também que não existe causalidade entre a produção de electricidade renovável e o emprego no sector electroprodutor (tabela 4.11). Uma vez que a maioria da electricidade renovável em Portugal é produzida a partir de tecnologias importadas, não é utilizada muita mão-de-obra na sua produção (Antunes, 2014). Assim, não é gerado emprego no sector electroprodutor em quantidade que seja notória neste tipo de análise.

A tabela 4.12 sintetiza as relações encontradas nos testes de causalidade realizados e como estas se enquadram nas hipóteses mencionadas na secção 2.3 do capítulo 2. Em resumo, verifica-se uma relação de causalidade unidireccional entre a produção de electricidade renovável e o PIB confirmando a hipótese de crescimento, uma relação bidireccional de causalidade entre o PIB e as emissões totais de CO₂ que verifica a hipótese de feedback e ainda a ausência de relações de causalidade entre a produção de electricidade renovável e o emprego no sector electroprodutor verificando a hipótese neutra.

De seguida é estudada a existência de co-integração das variáveis. Previamente, foram realizados testes de normalidade que verificam a possibilidade de existência de relação de co-integração. Os resultados obtidos para este teste observam-se na tabela 4.13 e mostram que é possível realizar os testes de co-integração para o conjunto A, mas não para o conjunto B que conjuga as variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emprego no Sector Electroprodutor, anteriormente estudado.

Na próxima secção averigua-se a existência de co-integração entre as variáveis estudadas anteriormente para o conjunto A.

Tabela 4.12: Síntese das relações de causalidade encontradas.

Relações de Causalidade	
Hipótese de Crescimento: relação unidireccional	O PIB não apresenta causalidade face à produção de electricidade renovável. A produção de electricidade renovável não apresenta causalidade face ao PIB.
Hipótese de <i>Feedback</i> : relação bidireccional	Verifica-se uma relação de causalidade do PIB para as emissões de CO ₂ e vice-versa.
Hipótese de Conservação: relação unidireccional	Não existe relação de causalidade entre a produção de electricidade renovável e as emissões de CO ₂ .
Hipótese Neutra	Não se verificam relações de causalidade entre as variáveis emprego no sector electroprodutor e produção de electricidade renovável.

Tabela 4.13: Resultados obtidos no teste de normalidade dos modelos VAR estimados, para a análise referente aos anos 1960-2014.

Teste de Normalidade - Doornik-Hansen		
	A. PIB, Electric Renovável, Emissões CO ₂	B. PIB, Electric Renovável, Emprego Sector Electroprodutor
<i>p-value</i>	0.2569	0.0000

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

4.2.7 Testes de co-integração (1980-2014)

Foi testada a co-integração entre as variáveis PIB, Emissões de CO₂ e Produção de Electricidade Renovável considerando 1 desfasamento. O teste do traço e o teste do valor máximo utilizados para averiguar a co-integração das variáveis mostram que existe pelo menos 1 vector co-integrante, talvez 2. Isto significa que estas variáveis se relacionam ao longo do tempo, existindo um vector co-integrante que correlaciona todas as variáveis ou dois vectores co-integrantes distintos que as correlacionam e podem ser determinados adiante. Os resultados obtidos encontram-se descritos na tabela 4.14.

Tabela 4.14: Resultados obtidos, em valores de *p-value*, no teste de Johansen para o conjunto de variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emissões de CO₂.

Rank	<i>p-value</i>	
	Teste do Traço	Teste do Valor Máximo
0	0.0149	0.0494
1	0.0720	0.0822
2	0.1613	0.1428

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

Na próxima secção são definidas as relações de correlação e determinados os vectores co-integrantes das variáveis.

4.2.8 Modelo Corrector do Erro - *Vector Error Correction Model (VECM)*

Uma vez que todas as variáveis são integradas de ordem 1: $I(1)$ e são co-integradas entre si, é estimado o VECM para as variáveis em nível, através do estimador OLS, estimando-se então um VECM(0). Pode desde já concluir-se que as relações de curto prazo presentes se baseiam nas relações de longo prazo existentes entre as variáveis.

Na secção anterior determinou-se a existência de 1 ou 2 vectores co-integrantes. Os factores de correlação determinados para 1 e 2 vectores co-integrantes e as respectivas relações apresentam-se de seguida.

- i) Um vector co-integrante - considerando a existência de 1 vector co-integrante extrai-se a seguinte equação 4.1 de correlação:

$$\text{PIB} = 0.623\text{Emissões CO}_2 + 0.239\text{Electricidade Renovável} \quad (4.1)$$

Significando que o aumento de 1% das emissões de CO_2 e 1% da produção de electricidade renovável resulta num aumento de 0.862% de PIB. Importa salientar que a variável emissões de CO_2 se refere às emissões totais de CO_2 nacionais, englobando as emissões provenientes não só do sector electroprodutor como também das restantes actividades económicas.

- ii) Dois vectores co-integrantes - considerando que existem 2 vectores co-integrantes, as correlações existentes são traduzidas pelas equações 4.2 e 4.3:

$$\text{Electricidade Renovável} = 0.087\text{Emissões CO}_2 \quad (4.2)$$

$$\text{PIB} = 0.644\text{Emissões CO}_2 \quad (4.3)$$

Desta forma, segundo a equação 4.2, um ponto percentual na emissão de CO_2 resulta num aumento de 0.087% da produção de electricidade renovável, enquanto pela equação 4.3 um ponto percentual das emissões de CO_2 resulta num aumento do PIB em 0.644%.

Na secção seguinte são elaboradas previsões tendo por base as correlações encontradas e considerando um único vector co-integrante.

4.3 Previsão de Cenários

As previsões nesta secção são realizadas para a correlação encontrada quando se assume a existência de apenas 1 vector co-integrante. São tidos em conta os cenários utilizados para a elaboração do PNAC 2020/2030 descritos na secção 3.2.7 do capítulo 3 e a relação da correlação descrita na equação 4.1. São utilizadas as previsões do PNAC 2020/2030 para a geração de electricidade renovável e emissões de GEE. Uma vez que o CO_2 é o principal

gás com efeito de estufa, representando a maioria das emissões, assumem-se os valores de previsão do PNAC 2020/2030 para as emissões GEE nos cálculos de previsão do impacto das emissões de CO₂ no PIB.

Na tabela 4.15, pode observar-se as previsões referentes a cada um dos cenários do PNAC para o ano de 2020 e 2030. Os resultados obtidos têm por base os valores produção de electricidade renovável, emissões de GEE e PIB de 2017. E utilizam-se os factores de correlação de 0.239 e 0.623, para a produção de electricidade renovável e emissões de CO₂, respectivamente.

Tabela 4.15: Previsões de cenários para 2020 e 2030 correspondentes à produção de electricidade renovável e respectivo crescimento do PIB.

	2017	2020			2030 baixo			2030 alto		
		Ref	Ref aj	Ref aj+	Ref	Ref aj	Ref aj+	Ref	Ref aj	Ref aj+
Electricidade Renovável (GWh)	22378	26754	27263	27263	30910	30828	35686	30861	30891	35959
Crescimento Electricidade Renovável (% face a 2017)		19.55%	21.83%	21.83%	38.12%	37.76%	59.47%	37.91%	38.04%	60.69%
PIB (Milhões €)	178499	186841	187813	187813	194764	194608	203870	194672	194729	204390
Crescimento do PIB (% face a 2017)		4.67%	5.22%	5.22%	9.11%	9.02%	14.21%	9.06%	9.09%	14.50%
Taxa de Crescimento Anual do PIB (% face a 2017)		1.53%	1.71%	1.71%	0.67%	0.67%	1.03%	0.67%	0.67%	1.05%
Emissões GEE Ref, Ref aj, Ref aj+ (kt CO ₂ e)	45175 46099 46113	40688	42425	42459	35234	32580	29970	40711	38461	36664
Crescimento das Emissões (% face a 2017)		-9.93%	-7.97%	-7.92%	-22.01%	-29.33%	-35.01%	-9.88%	-16.57%	-20.49%
PIB (Milhões €)	178499	167453	169637	169687	154028	145887	139569	167511	160074	155712
Crescimento do PIB (% face a 2017)		-6.19%	-4.96%	-4.94%	-13.71%	-18.27%	-21.81%	-6.16%	-10.32%	-12.77%
Taxa de Crescimento Anual do PIB (% face a 2017)		-2.11%	-1.68%	-1.67%	-1.13%	-1.54%	-1.87%	-0.49%	-0.83%	-1.05%
Taxa de Crescimento Anual do PIB (% face a 2017)		-0.57%	0.03%	0.04%	-0.45%	-0.87%	-0.85%	0.18%	-0.16%	0.00%

Para o ano de 2020 prevê-se um aumento da produção de electricidade renovável entre os 19.55% e os 21.83% face ao ano de 2017, o que contribui para um aumento do PIB de 4.67% a 5.22% face ao mesmo ano. Este aumento significa um crescimento anual do PIB que varia entre os 1.53% e os 1.71% face a 2017, consoante o cenário considerado. Considerando os resultados obtidos para as emissões de CO₂, prevê-se para o ano de 2020, uma redução de emissões entre os 9.93% e os 7.92% face ao ano de 2017. Esta redução de emissões contribui para um decréscimo do PIB entre os 6.19% e os 4.94% face ao mesmo ano. Considerando o impacto das duas variáveis (produção de electricidade renovável e emissões de CO₂) no PIB, verifica-se uma variação anual entre os -0.57% e os 0.04% face a 2017, consoante o cenário que é considerado.

Já para o ano de 2030, é previsto um aumento da produção que electricidade renovável de 38.12% a 60.69% face aos valores actuais (2017), o que corresponde a um aumento do PIB entre os 9.11% e os 14.50% face ao mesmo ano. Este aumento representa uma taxa de crescimento económico anual de 0.67% a 1.05% face ao ano base (2017). Tendo em conta as emissões esperadas para o ano de 2030, prevê-se uma redução entre os 9.83% e os 35.01% face ao ano de 2017, o que corresponde a uma variação do PIB entre os -6.16% e os -21.81%. Contabilizando as duas variáveis nesta previsão, estima-se uma variação do PIB entre os -0.87% e os 0.18%.

Importa referir que o decréscimo do PIB em função do decréscimo de emissões de CO₂ que se perspectiva nos próximos anos, é sustentado pela relação histórica existente entre estas duas variáveis, já que as actividades económicas que contribuem para o aumento do PIB, como a indústria e os serviços, são também responsáveis pela emissão de GEE. Todavia, o decréscimo da intensidade carbónica registada nos últimos anos mostra que as variáveis podem ser dissociadas alterando a previsão do crescimento económico, não sendo contudo possível de prever actualmente através dos métodos económicos utilizados nesta dissertação.

CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões obtidas nesta dissertação bem como sugestões de desenvolvimento de trabalho futuro deste tema.

5.1 Conclusões

O principal objectivo da presente dissertação foi estudar o impacto do sector electroprodutor renovável no crescimento económico em Portugal. Foram utilizados métodos econométricos auto-regressivos, e as variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável, Emissões totais de CO₂ e Emprego no Sector Electroprodutor por forma a averiguar a existência de relações causais entre estas variáveis e consequentemente, como estas podem contribuir para o crescimento económico em Portugal. Nestes caso, o crescimento económico é traduzido através da variável PIB, não sendo contabilizadas variáveis como o capital ou o investimento.

Tal como referido no capítulo 2, diversos estudos têm sido realizados com o intuito de estudar a relação entre o crescimento económico e o consumo de electricidade renovável. As conclusões obtidas em cada estudo são muito dependentes das características económicas e de desenvolvimento dos países sobre os quais incidem esses mesmos estudos. Por norma, variáveis de cariz energético estão muito dependentes das condições energéticas do país em estudo, como são exemplo, a sua acessibilidade a recursos energéticos e fontes de energia, bem como as tecnologias utilizadas e políticas implementadas. A maioria dos estudos mencionados revela que a electricidade renovável tem tido um papel cada vez mais relevante no desenvolvimento económico dos países. O seu impacto no crescimento é mais significativo nos países que apresentam maior rendimento económico (Id et al., 2018).

Nesta dissertação, considerando a série temporal mais longa (1960-2014), concluiu-se que não existem relações de causalidade entre as variáveis estudadas. Porém, quando considerada a série temporal 1980-2014, conclui-se, a partir do teste de causalidade de Granger, que não existe relação de causalidade entre as variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emprego no Sector Electroprodutor, verificando-se assim a **hipótese**

neutra para este conjunto de variáveis. Ao contrário, verificou-se a existência de uma relação de causalidade entre a Produção de Electricidade Renovável e o PIB, sustentando assim a **hipótese de crescimento**, e concluindo que a produção de electricidade renovável tem um impacto positivo no crescimento económico do país.

Dos testes realizados concluiu-se ainda que as variáveis PIB, Produção de Electricidade Renovável e Emissões de CO₂ são co-integradas, e desta forma foi possível determinar a relação de longo prazo existente entre elas. De acordo com a relação encontrada, foi possível determinar que o aumento de 1% de produção de electricidade renovável contribui para um aumento de 0.239% do PIB e o aumento de 1% de emissões de CO₂ contribui para um aumento de 0.623% do PIB. De seguida foram realizadas previsões de crescimento económico para os anos 2020 e 2030, considerando os cenários de geração de electricidade renovável e de emissões de GEE contemplados no PNAC 2020/2030. Obteve-se um crescimento económico de -0.57% a 0.04% e de -0.87% a 0.18% para 2020 e 2030 face ao ano de 2017, respectivamente.

Conclui-se ainda que a produção de electricidade renovável, de acordo com os cenários de previsão de geração de electricidade renovável do PNAC 2020/2030, contribui em 1.53% a 1.71% e em 0.67% a 1.05% para a taxa de crescimento económico anual em 2020 e 2030 face a 2017.

Inglesí-Lotz (2016) realizou um estudo semelhante para os países da OCDE onde concluiu que o aumento de 1% de consumo de energia renovável representava um aumento de 0.105% no valor total do PIB. Fang (2011) realizou também um estudo com o objectivo de determinar o impacto do consumo de energia renovável no PIB na China, concluindo que aumentando 1% no consumo de energia renovável o PIB aumenta em 0.162%. Um estudo idêntico realizado para o Brasil concluiu que o aumento de 1% do consumo de energia renovável correspondia a um aumento de 0.20% do PIB (Pao e Fu, 2013).

Portugal apresenta valores de impacto no crescimento económico superiores aos encontrados em alguns estudos, possivelmente devido ao facto de ser um país com condições favoráveis à produção de energia renovável, nomeadamente, hídrica, eólica e solar fotovoltaica. Desta forma, encoraja-se a implementação de metas mais ambiciosas referentes à produção e ao consumo de energia renovável.

Importa referir que este estudo apresenta também algumas limitações como é exemplo a extensão das séries temporais utilizadas. A análise estatística requer, idealmente, um elevado número de observações disponíveis de modo a assegurar a significância estatística dos resultados obtidos. Neste estudo são utilizadas 55 e 35 observações que já permitem a execução de uma análise estatística com resultados relevantes. Um maior número de observações permite também a inclusão de mais variáveis nos testes executados, e deste modo é possível determinar as correlações entre as variáveis com maior detalhe. Por fim, ressalva-se que a produção de electricidade renovável é uma variável energética que apresenta mudanças relevantes nos últimos anos, devido à maior aposta em energias renováveis. Contudo, esta é uma mudança que, por ser recente, pode não ser óbvia nos resultados obtidos. O mesmo acontece com as emissões de CO₂, uma vez que esta variável

tem decrescido significativamente nos últimos anos e se espera que continue a decrescer com vista a cumprir os objectivos estipulados no Acordo de Paris. Este tipo de limitações podem levar à obtenção de resultados espúrios.

5.2 Considerações Finais

Com os princípios do desenvolvimento sustentável declarados na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, que decorreu Estocolmo em 1972, não só crescem as preocupações e cuidados com o ambiente em que vivemos como também a necessidade de o monitorizar. Surgem, a partir de 1970, críticas ao PIB como indicador de desenvolvimento e qualidade de vida, pois ocorre um extensão da definição de bem-estar da população. Assim, começa a olhar-se para o PIB como indicador exclusivamente económico (Stockhammer et al., 1997). Esta situação leva à necessidade de encontrar um indicador que possa, com maior rigor, medir o desenvolvimento e bem-estar de um país. Entre outros, o ISEW é um dos indicadores aparentemente mais apto a substituir o PIB e tornar-se um indicador de sustentabilidade robusto e largamente utilizado. O ISEW é um indicador de sustentabilidade que considera não só as variáveis económicas utilizadas no PIB como o consumo e os gastos governamentais mas contempla também variáveis de custos sociais (e.g. associados à segurança) e ambientais (e.g. associados à poluição, depleção de recursos ou perda de habitats) (Chelli et al., 2013).

Assim, e à semelhança de outros estudos já desenvolvidos (apresentados no capítulo 2), sugere-se a realização de um estudo semelhante utilizando indicadores de sustentabilidade, como o ISEW, para Portugal.

BIBLIOGRAFIA

- Adkins, L. C. (2010). Using gretl for Principles of Econometrics. (3rd, 1.313).
- Afonso, T. L., Marques, A. C. & Fuinhas, J. A. (2017). Strategies to make renewable energy sources compatible with economic growth. *Energy Strategy Reviews*, 18, 121–126. doi:10.1016/j.esr.2017.09.014
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705
- Akaike, H. (2011). Akaike's information criterion. Em M. Lovric (Ed.), *International encyclopedia of statistical science* (pp. 25–25). doi:10.1007/978-3-642-04898-2_110
- Alper, A. & Oguz, O. (2013). Renewable energy consumption-economic growth nexus in Turkey. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 494–499. doi:10.1080/15567249.2016.1156195
- Alper, A. & Oguz, O. (2016). The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 953–959. doi:10.1016/j.rser.2016.01.123
- Amador, T. A. (2015). *Causalidade entre o crescimento económico, a emissão de CO₂ e o consumo de energias renováveis em Portugal* [Dissertação de Mestrado] (Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade de Lisboa).
- Antunes, J. I. A. S. (2014). *Geopolítica das renováveis: Implicações do novo paradigma para a península ibérica* [Dissertação de mestrado em economia e gestão do ambiente] (Faculdade de Economia da Universidade do Porto).
- APA. (2018a). Acordo de paris. Acedido em 09/02/2018. Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=1367>
- APA. (2018b). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas: Departamento de Alterações Climáticas (DCLIMA). Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA. (2018c). Protecção da Camada de Ozono. Acedido em 24/07/2018. Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=83>
- APA. (2018d). Protocolo de Quioto. Acedido em 24/07/2018. Agência Portuguesa do Ambiente. Obtido de <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=500>
- Apergis, N. & Payne, J. E. (2010a). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Elsevier: Energy Economics*, 32(6), 1421–1426. doi:10.1016/j.eneco.2010.04.006

- Apergis, N. & Payne, J. E. (2010b). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Elsevier: Energy Policy*, 38(1), 656–660. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.002
- APREN. (2014). *Impacto macroeconómico do setor da eletricidade de origem renovável em Portugal*. Associação Portuguesa de Energias Renováveis. Acedido em 10/10/2018.
- Banco de Portugal. (2018). Emprego global - Indústria, eletricidade, gás, água e construção - Eletricidade, gás e água (1960-1994). Acedido em 18/01/2018. Obtido de <https://www.bportugal.pt/publicacao/boletim-estatistico?mlid=1900>
- Bezerra, M. I. S. (2006). Apostila de Análise de Séries Temporais. (Vol. Curso de Estatística). DMEC/FCT/UNESP.
- Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I. & Bhattacharya, S. (2016). The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries. *Elsevier: Applied Energy*, 162, 733–741. doi:10.1016/j.apenergy.2015.10.104
- Bithas, K. & Kalimeris, P. (2016). A brief history of energy use in human societies. Em *Revisiting the energy-development link: Evidence from the 20th century for knowledge-based and developing economies*. doi:10.1007/978-3-319-20732-2
- Böhringer, C., Keller, A. & Werf, E. V. D. (2013). Are green hopes too rosy? Employment and welfare impacts of renewable energy promotion. *Elsevier: Energy Economics*, 36, 277–285. doi:10.1016/j.eneco.2012.08.029
- Chelli, F. M., Ciommi, M. & Gigliarano, C. (2013). The index of sustainable economic welfare: A comparison of two Italian regions. *Elsevier: Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 81, 443–448. Acedido em 20/10/2018. doi:10.1016.2013.06.457
- Comissão Europeia. (1997). Energia para o Futuro: Fontes de Energia Renováveis ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões e o Banco Europeu de Investimento. Em *Livro Branco para uma Estratégia e um Plano de Acção Comunitários*.
- Comissão Europeia. (2013). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Tecnologias e inovação energéticas, Bruxelas.
- Comissão Europeia. (2016a). Clean energy for all Europeans: Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões e o Banco Europeu de Investimento, Bruxelas.
- Comissão Europeia. (2016b). Over one million jobs in renewable energy. Acedido em 10/13/2018. Obtido de <https://ec.europa.eu/energy/en/news/over-one-million-jobs-renewable-energy>
- DGE. (2018). Principais Cimeiras Internacionais e Resoluções. Acedido em 28/12/2018. Direcção-Geral de Educação. Obtido de <http://www.dge.mec.pt/principais-cimeiras-internacionais-e-resolucoes>
- DGEG. (2012). *Renováveis: Estatísticas Rápidas 2012* (N.º 94). Direcção-Geral de Energia e Geologia.

- DGEG. (2013). *Renováveis: Estatísticas Rápidas 2013* (N.º 106). Direcção-Geral de Energia e Geologia.
- DGEG. (2015). *Energia me Portugal 2013*. Direcção-Geral de Energia e Geologia, Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- DGEG. (2017). Coordenação Internacional - Legislação: Directivas. Acedido em 17/08/2018. Direcção-Geral de Energia e Geologia. Obtido de <http://www.dgeg.gov.pt/pagina.aspx?js=0&codigono=6768677085358537AAAAAAA>
- Dickey, D. A. & Fuller, W. A. (2014). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/2286348>
- Dogan, E. (2015). The relationship between economic growth and electricity consumption from renewable and non-renewable sources: A study of Turkey. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 534–546. doi:10.1016/j.rser.2015.07.130
- Dogan, E. (2016). Analyzing the linkage between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth by considering structural break in time-series data. *Elsevier: Renewable Energy*, 99, 1126–1136. doi:10.1016/j.renene.2016.07.078
- Dolado, J. J. & Lütkepohl, H. (1996). Making wald tests work for cointegrated VAR systems. *Econometric Reviews*, 15(4), 369–386. doi:10.1080/07474939608800362
- Doornik, J. A. & Hansen, H. (2008). Practitioners' Corner: An Omnibus Test for Univariate and Multivariate Normality. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70, 927–939. doi:10.1111/j.1468-0084.2008.00537.x
- Enders, W. (1995). *Applied econometric time series: Wiley series in probability and mathematical statistics* (1st). John Wiley & Sons, Inc.
- Eurostat. (2018a). Energy statistics - an overview: Gross inland energy consumption by fuel, eu-28, 1990-2016. Acedido em 10/19/2018. Obtido, de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview
- Eurostat. (2018b). Renewable energy statistics: Share of energy from renewable sources in the eu member states. Acedido em 10/19/2018. Obtido, de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Figure_1-Share_of_energy_from_renewable_sources_2004-2016.png
- Eurostat. (2018c). Share of renewable energy in gross final energy consumption. Acedido em 10/09/2018. Obtido de https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&plugin=1&language=en&pcode=t2020_31
- Fang, Y. (2011). Economic welfare impacts from renewable energy consumption: The china experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5120–5128. Obtido de <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:rensus:v:15:y:2011:i:9:p:5120-5128>
- Flues, F., Löschel, A., Lutz, B. J. & Schenker, O. (2014). Designing an EU energy and climate policy portfolio for 2030: Implications of overlapping regulation under different levels of electricity demand. *Elsevier: Energy Policy*, 75, 91–99. doi:10.1016/j.enpol.2014.05.012

- Fouquet, R. (2015). Lessons from energy history for climate policy. *Centre for Climate Change Economics and Policy*. doi:10.1016/j.erss.2016.09.001
- Furuoka, F. (2017). Renewable electricity consumption and economic development: New findings from the Baltic countries. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 450–463. doi:10.1016/j.rser.2016.12.074
- Gaspar, J. d. S., Marques, A. C. & Fuinhas, J. A. (2017). The traditional energy-growth nexus: A comparison between sustainable development and economic growth approaches. *Elsevier: Ecological Indicators*, 75, 286–296. doi:10.1016/j.ecolind.2016.12.048
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438.
- Hannan, E. J. & Quinn, B. G. (1979). The determination of the order of an autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 41(2), 190–195. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/2985032>
- Hills, J. M. & Michalena, E. (2017). Renewable energy pioneers are threatened by EU policy reform. *Elsevier: Renewable Energy*, 108, 26–36. doi:10.1016/j.renene.2017.02.042
- Id, S. N., Skordoulis, M. & Id, G. K. (2018). Renewable Energy and Economic Growth : Evidence from European Countries, 1–13. doi:10.3390/su10082626
- IEA. (2016a). OECD - Electricity and heat generation. Acedido em 18/01/2018. International Energy Agency. Obtido de <https://www.oecd-ilibrary.org/content/data/data-00457-en>
- IEA. (2016b). OECD - Electricity and heat generation. Acedido em 18/01/2018. International Energy Agency. Obtido de <https://www.oecd-ilibrary.org/content/data/data-00457-en>
- IEA. (2018a). OECD - Electricity and heat generation. Acedido em 18/01/2018. International Energy Agency. Obtido de https://www.oecd-ilibrary.org/energy/data/iea-electricity-information-statistics/oecd-electricity-and-heat-generation_data-00457-en
- IEA. (2018b). Statistics | Portugal - Total Primary Energy Supply (TPES) by source. Acedido em 10/10/2018. International Energy Agency. Obtido de <https://www.iea.org/statistics/?country=PORTUGAL&year=1995&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=true>
- INE. (2014). Classificação portuguesa das actividades económicas - rev. 3. Acedido em 11/04/2018. Instituto Nacional de Estatística. Obtido de https://www.ine.pt/ine_novidades/semin/cae/CAE_REV_3.pdf
- Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Elsevier: Energy Economics*, 53, 58–63. doi:10.1016/j.eneco.2015.01.003
- IPCC. (2014a). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC. Geneva, Switzerland.
- IPCC. (2014b). *Climate change 2014: Synthesis report*. IPCC. Geneva, Switzerland.
- Jesus, C. P. M. (2011). *Impacto Macroeconómico do Sector das Energias Renováveis em Portugal* [Tese para obtenção do grau de msc in business administration] (Católica Lisbon School of Business e Economics, Universidade Católica Portuguesa, Lisboa).
- Johansen, S. (1992). Cointegration in partial systems and the efficiency of single-equation analysis. *Elsevier: Journal of Econometrics*, 52(3), 389–402. Obtido de <https://ideas.repec.org/a/eee/econom/v52y1992i3p389-402.html>
- Kanellakis, M., Martinopoulos, G. & Zachariadis, T. (2013). European energy policy - A review. *Elsevier: Energy Policy*, 62, 1020–1030. doi:10.1016/j.enpol.2013.08.008
- Koçak, E. & Şarkgüneşi, A. (2017). The renewable energy and economic growth nexus in Black Sea and Balkan Countries. *Elsevier: Energy Policy*, 100, 51–57. doi:10.1016/j.enpol.2016.10.007
- Kraft, John Kraft, A. (1978). On the Relationship Between Energy and GNP. *The Journal of Energy Development*, 3(2), 401–403. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/24806805>
- Lin, B. & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption - Economic growth nexus for China. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111–117. doi:10.1016/j.rser.2014.07.128
- Long, X., Namitse, E. Y., Du, J. & Zhuang, J. (2015). Nonrenewable energy, renewable energy, carbon dioxide emissions and economic growth in China from 1952 to 2012. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 680–688. doi:10.1016/j.rser.2015.07.176
- Maltby, T. (2013). European Union energy policy integration: A case of European Commission policy entrepreneurship and increasing supranationalism. *Elsevier: Energy Policy*, 55, 435–444. doi:10.1016/j.enpol.2012.12.031
- Markandya, A., Arto, I., González-Eguino, M. & Román, M. V. (2016). Towards a green energy economy? Tracking the employment effects of low-carbon technologies in the European Union. *Elsevier: Applied Energy*, 179, 1342–1350. doi:10.1016/j.apenergy.2016.02.122
- Martins, M. (1983). A energia eléctrica em Portugal : Um sector chave do desenvolvimento económico e do bem-estar social. *188*, 252–255.
- Menegaki, A. N. & Tiwari, A. K. (2017). The index of sustainable economic welfare in the energy-growth nexus for American countries. *Elsevier: Ecological Indicators*, 72, 494–509. doi:10.1016/j.ecolind.2016.08.036
- Menegaki, A. N. & Tugcu, C. T. (2016). Rethinking the energy-growth nexus: Proposing an index of sustainable economic welfare for Sub-Saharan Africa. *Elsevier: Energy Research and Social Science*, 17, 147–159. doi:10.1016/j.erss.2016.04.009

- Menegaki, A. N. & Tugcu, C. T. (2018). Two versions of the Index of Sustainable Economic Welfare (ISEW) in the energy-growth nexus for selected Asian countries. *Elsevier: Sustainable Production and Consumption*, 14, 21–35. doi:10.1016/J.SPC.2017.12.005
- Moreira, B. A. d. B. C. (2011). *Modelização de Empréstimos Bancários de Empresas não Financeiras na Zona do Euro: uma abordagem VAR/VECM* [Dissertação de Mestrado em Matemática Financeira] (Instituto Superior das Ciências do Trabalho e da Empresa, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa).
- NOAA. (2017). Recent global CO₂: Global greenhouse gas reference network. National Oceanic e Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce. Obtido 17 setembro 2018, de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- O'Mahony, T., Escardó-Serra, P. & Dufour, J. (2018). Revisiting ISEW Valuation Approaches: The Case of Spain Including the Costs of Energy Depletion and of Climate Change. *Elsevier: Ecological Economics*, 144, 292–303. doi:10.1016/j.ecolecon.2017.07.024
- Pao, H.-t. & Fu, H.-c. (2013). Renewable energy , non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381–392. doi:10.1016/j.rser.2013.05.004
- Pordata. (2018a). Emprego: total e por ramo de actividade, equivalente a tempo completo (base=2011) (1995-2014). Acedido em 18/02/2018. Obtido de [https://www.pordata.pt/Portugal/Emprego+total+e+por+ramo+de+actividade++equivalente+a+tempo+completo+\(base+2011\)-2296](https://www.pordata.pt/Portugal/Emprego+total+e+por+ramo+de+actividade++equivalente+a+tempo+completo+(base+2011)-2296)
- Pordata. (2018b). PIB e PIB *per capita* a preços constantes (base=2011). Acedido em 18-01-2018. Obtido de [https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+e+PIB+per+capita+a+pre%C3%A7os+constantes+\(base+2011\)-2953](https://www.pordata.pt/Portugal/PIB+e+PIB+per+capita+a+pre%C3%A7os+constantes+(base+2011)-2953)
- Proença, S. & St. Aubyn, M. (2013). Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal. *Elsevier: Energy Economics*, 38, 176–185. doi:10.1016/j.eneco.2013.02.013
- Rafindadi, A. A. & Ozturk, I. (2017). Impacts of renewable energy consumption on the German economic growth : Evidence from combined cointegration test. *Elsevier: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1130–1141. doi:10.1016/j.rser.2016.11.093
- REN. (2018). Índice de Produtibilidade Hidroelétrica - Estatística mensal. Acedido em 04/09/2018. Obtido de <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/pt/informacaoexploracao/paginas/estatisticamensal.aspx>
- REN21. (2018). *Renewables 2018 - global status report: A comprehensive annual overview of the state of renewable energy*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Acedido em 10/09/2018. Paris: REN21 Secretariat.
- Ribeiro, C. S. (1996). *Raízes Unitárias e Cointegração: uma introdução* [Working paper nº44] (Departamento de Matemática do Instituto Superior de Economia e Gestão da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa).

- Ribeiro, F., Ferreira, P., Araújo, M. & Braga, A. C. (2014). Public opinion on renewable energy technologies in Portugal. *Elsevier: Energy*, 69, 39–50. doi:10.1016/j.energy.2013.10.074
- Ritchie, H. & Roser, M. (2018). Fossil fuels. (Acedido em 10/08/2018). Obtido de <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>
- Rocha, J. C. C. (2013). *Consumo de energia e crescimento económico em países exportadores de petróleo* [Dissertação para obtenção do grau de mestre em economia] (Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade da Beira Interior, Covilhã).
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461–464. doi:10.1214/aos/1176344136
- Seixas, J., Fortes, P., Dias, L., Barroso, J., Martinho, S., Gouveia, J. P., ... Baptista, P. (2014). Estudo técnico de apoio ao PNAC (Cenários de emissões de GEE e opções tecnológicas para a descarbonização em Portugal em 2020 e 2030): Estudo para a Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa, Portugal: Lasting values, Lda e CENSE/FCT - NOVA.
- Sencar, M., Pozeb, V. & Krobe, T. (2014). Development of EU (European Union) energy market agenda and security of supply. *Elsevier: Energy*, 77, 117–124. doi:10.1016/j.energy.2014.05.031
- Sørensen, B. E. (2012). Short Introduction to Time Series.
- Stockhammer, E., Hochreiter, H., Obermayr, B. & Steiner, K. (1997). The index of sustainable economic welfare (ISEW) as an alternative to GDP in measuring economic welfare. The results of the Austrian (revised) ISEW calculation 1955-1992. *Elsevier: Ecological Economics*, 21(1), 19–34. doi:10.1016/S0921-8009(96)00088-2
- Tang, C. F., Shahbaz, M. & Arouri, M. (2013). Re-investigating the electricity consumption and economic growth nexus in Portugal. *Elsevier: Energy Policy*, 62, 1515–1524. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.073
- Tsangyao, C., Wenshwo, F. & Li-Fang, W. (2001). Energy consumption, employment, output, and temporal causality: Evidence from taiwan based on cointegration and error-correction modelling techniques. *Applied Economics*, 33(8), 1045–1056. doi:10.1080/00036840122484
- UNFCCC. (2018a). History of the Convention. Acedido em 15/01/2018. United Nations Framework Convention on Climate Change. Obtido de <https://unfccc.int/process/the-convention/history-of-the-convention#eq-2>
- UNFCCC. (2018b). Paris Agreement - Status of Ratification. Acedido em 16/07/2018. United Nations Framework Convention on Climate Change. Obtido de <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>
- UNFCCC. (2018c). The Paris Agreement. Acedido em 28/10/2018. United Nations Framework Convention on Climate Change. Obtido de <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>

- União Europeia. (2017). Energia: EUR-Lex, Direito da UE. Acedido em 20/12/2017. Obtido de http://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/energy.html?root_default=SUM_1_CODED%3D18&locale=pt
- União Europeia. (2018). Energia. Acedido em 07/01/2018. Obtido de https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt
- Verbeek, M. (2008). *A Guide to Modern Econometrics* (2nd) (). doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th) (). Obtido de http://economics.ut.ac.ir/documents/3030266/14100645/Jeffrey_M._Wooldridge_Introductory_Econometrics_A_Modern_Approach__2012.pdf
- World Bank. (2018a). CO₂ emissions (kt). Acedido em 18-02-2018. Obtido de <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT?locations=PT&view=chart>
- World Bank. (2018b). Electric power consumption (kwh per capita). Acedido em 10/11/2018. Obtido de <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=PT-DE-FR>
- World Bank. (2018c). Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric (% of total). Acedido em 10/11/2018. Obtido de <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.RNWX.ZS?locations=PT&view=chart>
- World Bank. (2018d). Fossil fuel energy consumption (% of total). Acedido em 10/11/2018. Obtido de <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?locations=PT>
- World Bank. (2018e). Renewable energy consumption (% of total final energy consumption). Acedido em 10/12/2018. Obtido de <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=PT>
- Xavier, J. M. N. (2016). *Análise e Previsão de Séries Temporais com Modelos ARIMA e Análise Espectral Singular* [Dissertação de Mestrado em Bioestatística e Biometria] (Universidade Aberta).
- Zhang, Y.-J. (2011). Interpreting the dynamic nexus between energy consumption and economic growth: Empirical evidence from Russia. *Elsevier: Energy Policy*, 39(5), 2265–2272. doi:10.1016/j.enpol.2011.01.024

ANEXO 1 - RESULTADOS OBTIDOS NO TESTE ADF CONSIDERANDO 2 DESFASAMENTOS E UM INTERVALO DE TEMPO DE 1960-2014

Tabela I.1: Resultados obtidos no teste ADF considerando as variáveis em nível (*ln*), as respectivas primeiras diferenças e 2 desfasamentos.

	Variáveis	<i>p-value</i>		
		Sem constante	Com constante	Com constante e tendência
2 desfasamentos	ln_PIB	0,9954	0,0223	0,9044
	ln_Emissões CO ₂	0,9793	0,0129	0,9995
	ln_Emprego	0,3972	0,8852	0,9008
	ln_Electric Renovável	0,9943	0,8367	0,2917
	d_ln_PIB	0,0089	0,0063	0,0003
	d_ln_Emissões CO ₂	0,0688	0,3342	0,1816
	d_ln_Emprego	0,0005	0,0076	1,205e ⁻⁵
	d_ln_Electric Renovável	1,414e ⁻¹⁷	4,934e ⁻¹⁹	3,383e ⁻¹⁹

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.



ANEXO 2 - RESULTADOS OBTIDOS NO TESTE ADF CONSIDERANDO 2 DESFASAMENTOS E A SÉRIE TEMPORAL 1980-2014

Tabela II.1: Resultados obtidos no teste ADF considerando as variáveis em nível (\ln), as respectivas primeiras diferenças e 2 desfasamentos.

	Variáveis	<i>p-value</i>		
		Sem constante	Com constante	Com constante e tendência
2 desfasamentos	\ln_PIB	0,9607	0,3602	0,9707
	$\ln_Emissões\ CO_2$	0,9415	0,3094	0,9945
	$\ln_Emprego$	0,0225	0,9690	0,2421
	$\ln_Electric\ Renovável$	0,9909	0,9456	0,8392
	d_ln_PIB	0,0362	0,1069	0,1132
	$d_ln_Emissões\ CO_2$	0,0983	0,5008	0,4968
	$d_ln_Emprego$	$1,301e^{-5}$	$3,610e^{-5}$	0,0002
	$d_ln_Electric\ Renovável$	$2,295e^{-14}$	$2,118e^{-15}$	$6,367e^{-15}$

Nota: As conclusões destes resultados são deduzidas para um nível de significância de 5%.

Realiza-se novamente o teste, para as variáveis em nível e para as suas primeiras diferenças, mas considerando desta vez 2 desfasamentos (Tabela II.1). Observa-se que para a maioria das variáveis não há diferenças significativas - as variáveis são integradas de ordem 1. Note-se que, para a variável Emissões de CO_2 e 2 desfasamentos, apenas se pode considerar a sua estacionaridade com 90% de confiança sem constante. No entanto, e considerando os resultados obtidos no teste anterior para 1 desfasamento, onde se concluiu com 95% de confiança, que esta variável é estacionária na sua primeira diferença, pode assumir-se que a variável Emissões de CO_2 é integrada de ordem 1.