



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Yaroslav Andri Talyzin

**O PAPEL DO GOVERNO NA TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA
O CASO NÓRDICO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Economia com
Especialização Financeira orientada pelo Professor Doutor José
Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas e apresentada à
Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.**

Fevereiro de 2022



FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Yaroslav Andri Talyzin

**O PAPEL DO GOVERNO NA TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA
O CASO NÓRDICO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Economia com
Especialização Financeira orientada pelo Professor Doutor José
Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas e apresentada à
Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra.**

Fevereiro de 2022

Abstract

The present study looks at a set of European countries, during the time period of 2000-2019, to study and evaluate the effects of governmental policies related to energy transition. Environmental tax revenue and public gross fixed capital formation are used to explain the behaviour of the energy transition, which is modelled as a ratio of renewable over non-renewable primary energy supply. Two models are constructed, one relating the governmental policies to energy transition, and the second one includes private investment as proxy, in the attempt to capture the influence of the private sector. The emission of carbon dioxide is included as a control variable.

The ARDL (auto-regressive distributed lag) model results indicate both tax revenue and the gross fixed capital formation have a positive and statistically significant effect on the long-run, but fail to remain significant in the short-run. Private investment shows a negative and statistically significant effect on the long-run, which might be related to difficulties felt by the private sector in adjusting to the energy transition. Furthermore, the model is corrected for shocks through the analysis of residuals and formulation of dummies for outliers. While the relevant effects remain statistically significant, there is a significant shift in the ECM coefficient, thus implying that energy transition is vulnerable to shocks.

Given the findings of this study, we reinforce the importance of government policy to be planned and coordinated according to the specific characteristics of each country, with special consideration to which phase in the energy transition process they find themselves.

Keywords: energy transition, renewable energy, NORDPOOL market, government policy, panel data

JEL classification: Q42, Q48, Q58

Resumo

O presente estudo analisa um conjunto de países europeus, durante o período 2000-2019, para estudar e avaliar os efeitos das políticas governamentais relacionadas à transição energética. A receita tributária ambiental e a formação bruta de capital fixo público são utilizadas para explicar o comportamento da transição energética, modelada como o rácio entre a oferta de energia primária renovável sobre a não renovável. São construídos dois modelos, um relacionando as políticas governamentais à transição energética, e outro com a inclusão do investimento privado como proxy, na tentativa de capturar a influência do setor privado. A emissão de dióxido de carbono é incluída como variável de controlo.

Os resultados do modelo ARDL (auto-regressive distributed lag) indicam que tanto a receita tributária como a formação bruta de capital fixo têm um efeito positivo e estatisticamente significativo no longo prazo, mas não são significativos no curto prazo. O investimento privado apresenta um efeito negativo e estatisticamente significativo a longo prazo, o que poderá estar relacionado com as dificuldades sentidas pelo setor privado na adaptação à transição energética. Adicionalmente, o modelo é corrigido para choques através da análise de resíduos e formulação de dummies para os outliers. Apesar dos efeitos relevantes permanecerem estatisticamente significativos, o coeficiente ECM baixa (em termos absolutos), implicando que a transição energética é vulnerável a choques.

À luz dos resultados obtidos, reforçamos a importância da ação governamental ser planeada e coordenada em linha com as características específicas de cada país, com especial atenção à fase da transição em que se encontram.

Keywords: transição energética, energia renovável, mercado NORDPOOL, políticas governamentais, dados em painel

JEL classification: Q42, Q48, Q58

Conteúdo

Abstract	i
Resumo	ii
1 Introdução	1
2 Revisão de Literatura	3
3 Dados e Metodologia	7
3.1 Descrição da Base de Dados	7
3.2 Estimação	8
3.3 Resultados e Discussão	13
4 Conclusão	19
Bibliografia e Referências	27

Capítulo 1

Introdução

Na década de 1990, vários projetos para energia “limpa” encontravam-se estabelecidos mas, como reportava o New York Times em 1995 para a situação nos Estados Unidos da América, o custo associado a energia de fontes renováveis continuava a ser superior às alternativas fósseis, colocando o futuro das renováveis como fonte significativa de energia em questão – mesmo perante a consciência dos riscos associados à falta de um mercado de energia renovável numa das maiores economias mundiais.

Na União Europeia, o interesse comum perante a proteção ambiental data ao Conselho Europeu de 1972, em Paris. Este momento marca o início para um movimento coletivo do qual surgem os tratados e acordos entre os países da União Europeia para uma política com foco na preservação do ambiente e proteção da saúde humana, entre os quais o Tratado de Maastricht em 1993 – que torna o ambiente numa área de política oficial da UE – e o Tratado de Lisboa em 2009 – onde o combate ao aquecimento global torna-se um objetivo específico do bloco europeu. Isto vem culminar no “European Green Deal” de 2019 que, entre outros objetivos, propõe reduzir as emissões de gases de estufa em 55%, comparado aos níveis de 1990, até 2030 – através de uma quota de 40% de fontes renováveis no mix de energia europeu; e atingir a neutralidade no que toca a emissões de gases de estufa até 2050.

Na Europa várias medidas têm sido aplicadas no sentido de incentivar a transição, entre as quais: as Feed-In Tariffs, que servem de incentivo ao investimento e produção de energia de fontes renováveis a pequenos produtores de fonte solar e eólica (bem como acesso garantido à rede de energia), impostos sobre emissão de gases de estufa, e investimento direto do setor público na área de pesquisa e desenvolvimento. Perante isto, dados de 2019 da Eurostat apontam que fontes renováveis determinam 19,7% do total da energia consumida na União

Europeia, mais do dobro dos níveis de 2004, ano em que este valor se situava em 9,6%.

Em Novembro de 2020 ocorreu a cimeira do clima da ONU – COP26 – em Copenhaga. Como reportado pelo *The Economist* na véspera, um dos temas mais importantes implicava acordos para a transição energética e o tema de investimento no setor renovável. Apesar da renovação de acordos intergovernamentais para a promoção de energias renováveis, *The Economist* indicava que os valores de investimento encontram-se a metade do necessário para atingir os objetivos estabelecidos para 2050 e a dependência sobre fontes não renováveis está longe de ser resolvida, como foi comprovado durante os últimos meses de 2020. Devido a um conjunto de eventos que abateu a oferta de energia, entre os quais condições climáticas que diminuíram o fluxo de energia de centrais eólicas na Europa, países como o Reino Unido viram-se numa posição em que a lacuna entre a procura e oferta de energia teve de ser preenchida pela reativação de instalações de energia à base da queima de carvão. A Polónia, em contraste, encontra-se a debater o fim do programa de apoio a instalações solares, devido ao custo inerente e à dificuldade de ajustar a rede de energia à oferta gerada em horas de pico.

Tendo em conta o exposto, com a renovação de objetivos ambiciosos para o tema da transição energética, paralela aos choques vividos durante o segundo semestre de 2020, a questão do presente estudo reside em identificar e perceber o impacto das medidas governamentais sobre a adaptação de fontes renováveis. As próximas seções apresentam: (i) revisão da literatura pertinente, (ii) descrição dos dados utilizados e metodologia aplicada, junto com os resultados obtidos, e (iii) principais conclusões obtidas do estudo.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

O tema da transição energética tem ganho crescente importância no palco internacional, fruto da consciencialização das populações sobre os problemas associados à utilização de fontes de energia não renováveis – entre estas, a poluição do ar, água e solo, aumento da concentração de gases de estufa, e consequente destruição de habitats. Como consequência, governos e grandes empresas encontram-se sobre tremenda pressão social para a decarbonização da economia e a implementação de fontes renováveis para a obtenção de energia.

Em paralelo, esta atenção levou à constituição de um campo de investigação sobre a transição energética com uma literatura extensa à data. O nexus de crescimento económico e energia encontra-se entre os mais estudados, com elevada heterogeneidade no que toca a dados, objetivos, e técnicas aplicadas. Payne (2010) apresenta um resumo compreensivo dos vários países estudados e categoriza-os pelas hipóteses de causalidade entre crescimento económico e consumo de electricidade.

Fernandes et al. (2021) apontam que o processo de decarbonização está dependente de dois pontos fulcrais: a eletrificação da economia, face ao elevado nível de eficiência da tecnologia baseada em energia elétrica, e a transição de carvão para gás natural, da qual resulta uma diminuição da emissão de dióxido de carbono e outros agentes poluentes. Os autores apresentam, através da simulação de um portefólio privado com investimentos em gás natural e ativos de electricidade, os agentes económicos no mercado evitam exposição elevada a preços de electricidade, devido à alta volatilidade destes. Dado que um dos pilares da transição energética é a eletrificação da energia, a ação governamental para fomentar o investimento em fontes renováveis, por exemplo, com recurso aos atuais PPAs (Power Purchase Agreement), torna-se fundamental.

Blazquez et al. (2018) exploram o problema entre a transição para um sistema energético à base de energias renováveis e a necessidade de manter fontes de energia não renováveis – dentro da estrutura de mercado liberalizado atual – salientando que o investimento na transição energética pode tornar-se financeiramente insustentável (frequentemente através de esquemas fiscais como as Feed-In Tariffs) sem novos mecanismos de mercado que incorporem os custos associados à estrutura de instalação de fontes renováveis. Os autores concluem que a transição energética para a total decarbonização da economia não é viável sob a condição de um mercado não centralizado, devido ao papel que fontes não renováveis e contínuas têm sobre a formação de preços. Deste modo, concluem que o mercado energético necessita de uma transformação estrutural, de modo a refletir os custos totais inerentes a fontes de energias renováveis, bem como a necessidade de um mecanismo de compensação que represente o benefício social obtido da decarbonização da economia.

Blasquez et. al. (2020) apresentam um estudo qualitativo sobre as potenciais vias de transição energética, nas quais determinam que o papel das medidas políticas é crucial na transformação do sistema energético para um à base de energias renováveis. O estudo em questão argumenta que o principal motor da transição energética atual resulta de um forte foco por parte da agenda política, ao invés de resultar apenas da inovação tecnológica. Apesar da aparição de novas fontes de energia, os autores indicam que é a presença de políticas como impostos sobre poluição e subsídios a energias renováveis que fornecem o relevo que a decarbonização tem apresentado e que levam a um efeito de substituição na tipologia de energia que alimenta as economias. Em seguida, devido ao modo como os mercados energéticos operam, descreve-se a evolução da penetração das energias renováveis numa economia, os efeitos que tem nas diferentes etapas e os problemas que apresenta tanto para os sistemas atuais de financiamento público como para a estabilização dos preços.

Hašič et. al. (2015) efetuam um estudo sobre o papel de financiamento público e políticas relacionadas com setores ambientais sobre a sua capacidade de mobilizar capital privado. Através da análise e estimativa de rácios entre capital público e privado aplicado a setores de energia renovável, o estudo procura estabelecer os determinantes para a mobilização de capital privado para estes setores, ligados a ação governamental (seja através de fluxos financeiros diretos ou políticas de estímulo). Esta análise decorre sob diferenciação das estruturas dos mercados em estudo de modo a acomodar as características específicas de cada país. Os resultados do estudo apontam para um papel significativo das medidas governamentais

consideradas sobre o fluxo de investimento privado para os setores renováveis, contudo, os autores notam que o efeito de políticas governamentais apresenta efeitos significativamente superiores em países do Norte e, em contraste, os países do Sul apresentam fluxos públicos diretos como o ponto de origem fulcral para a mobilização de investimento privado.

Cheng et. al. (2021) estudam a relação entre o imposto sobre a emissão de carbono e inovação tecnológica no setor energético, para o caso específico da Suécia, que é incluída no painel do presente estudo. A Suécia, em linha com os restantes países nórdicos, aplica uma sistema de taxaço que reverte diretamente para o financiamento e promoço da transiço energética. O foco do estudo recai sobre a teorizaço de uma relaço não-linear entre a inovaço e a receita de impostos, concluindo que a taxa aplicada deve ser aplicada de modo a fomentar a inovaço - garantindo que o custo de transiço para as empresas é inferior que o custo fiscal - mas tomar em conta que existe um limite superior. Este limite superior, para além de ser relativo à tipologia da economia, tem efeitos negativos sobre o crescimento e o bem-estar social se for ultrapassado. Adicionalmente, os autores notam que, apesar da Suécia ter obtido sucesso na implementaço da taxaço de emissões de dióxido de carbono em conjunto com crescimento económico, a estratégia política futura poderá necessitar de um redirecionamento para outros mecanismos que facilitem a transiço - como é o exemplo de financiamento acessível a empresas para aplicar à transformação necessária.

Face à literatura apresentada, o presente estudo pretende contribuir com uma perspetiva de avaliação sobre as ações tomadas pelo setor público de múltiplos países, que partilham algumas características fulcrais como a pertença a um mercado energético comum e integrado, bem como o compromisso presente pela sua adesão (ou proximidade, no caso da Noruega) à União Europeia e, por consequência, aos objetivos ambientais estabelecidos pelo bloco.

Capítulo 3

Dados e Metodologia

3.1 Descrição da Base de Dados

O objetivo principal do presente estudo assenta na identificação da relevância de políticas governamentais de apoio ao desenvolvimento de fontes de energia renovável e em determinar o impacto destas políticas no processo de transição energética. No sentido de desenvolver esta relação, a base de dados é definida por um conjunto de sete países: Dinamarca, Estónia, Letónia, Lituânia, Finlândia, Noruega e Suécia. Os dados abrangem o período de 2000 a 2019, com distribuição anual. O conjunto de países é definido em função de dois critérios: países com maior taxa de energia renovável no consumo final, à data de 2019, na comunidade europeia, e a respetiva adesão de cada país ao mercado de energia partilhado NORDPOOL. O horizonte temporal resulta da limitação da disponibilidade de dados sobre as variáveis que se pretende estudar.

A análise econométrica é realizada com o apoio do programa STATA 15. O sumário referente às variáveis, bem como a respetiva fonte e definição podem ser consultados na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Descrição das Variáveis

Variável	Definição	Fonte
TE	Transição Energética	OECD
ET	Receitas de Impostos sobre Energia	Eurostat
EK	Formação de Capital no Setor Renovável	Eurostat
P	Emissão de Dióxido de Carbono	Eurostat
I	Rácio de Investimento Privado sobre Produto Interno Bruto	Eurostat

3.2 Estimação

No sentido de modelar a transição energética, obtém-se o rácio de energia renovável sobre a oferta primária total de energia. De seguida, transformamos os valores de modo a representar o rácio de energia renovável sobre energia não renovável. O intuito desta transformação reside na intenção de capturar a relação não-linear entre o estado da adoção de energia renovável e a evolução da mesma, face a diferenciação entre setores na sua capacidade de adaptação e modificação das fontes energéticas. A estrutura desta variável baseia-se no pressuposto que a adoção de fontes de energia renovável implica fases iniciais de implementação têm custos e dificuldades inferiores às fases que as prosseguem.

A medição das políticas governamentais é obtida através de duas categorias: (i) a receita com impostos de natureza ambiental, como é o caso de impostos sobre emissão de gases de estufa ou impostos sobre a extração mineira, entre os vários exemplos, e pela (ii) despesa pública na formação de capital fixo associado com proteção ambiental. Os valores de emissões de CO₂ funcionam como variável de controlo no modelo. O investimento privado, medido como rácio do investimento sobre o Produto Interno Bruto (PIB), é introduzido como proxy para estudar a existência de efeitos do setor privado sobre a transição energética. aleatórios. Face aos objetivos do presente estudo, o método ARDL (*Autoregressive Distributed Lag*) apresenta as características pretendidas para a estimação. A estimação ARDL resulta na decomposição de impactos de curto prazo e de longo prazo das variáveis explicativas sobre a transição energética. Adicionalmente, a especificação ARDL permite a inclusão de variáveis com ordem de integração I(0), I(1), bem como um mix de ambas. As equações (3.1) e (3.2) apresentam os modelos estimados, em primeiro lugar com foco nos instrumentos governamentais e, de seguida, com a inclusão da proxy da atividade privada sob forma de investimento - os prefixos "L" e "D" representam a transformação logarítmica e a formulação das primeiras diferenças, respetivamente:

$$\begin{aligned}
 LTE_{it} = & \alpha_{1i} + \beta_{1,1}LTE_{it-1} + \beta_{1,2}LET_{it} + \beta_{1,3}LET_{it-1} + \beta_{1,4}LEK_{it} \\
 & + \beta_{1,5}LEK_{it-1} + \beta_{1,6}LP_{it} + \beta_{1,7}LP_{it-1} + \epsilon_{1it},
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 LTE_{it} = & \alpha_{2i} + \beta_{2,1}LTE_{it-1} + \beta_{2,2}LET_{it} + \beta_{2,3}LET_{it-1} + \beta_{2,4}LEK_{it} \\
 & + \beta_{2,5}LEK_{it-1} + \beta_{2,6}LP_{it} + \beta_{2,7}LP_{it-1} + \beta_{2,8}LI_{it} + \beta_{2,9}LI_{it-1} \\
 & + \epsilon_{2it},
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Através da re-parametrização das equações (3.1) e (3.2), obtemos as equações (3.3) e (3.4) com a captação das relações dinâmicas entre as variáveis em estudo:

$$\begin{aligned}
 DLTE_{it} = & \alpha_{3i} + \beta_{3,1}DLET_{it} + \beta_{3,2}DLEK_{it} + \beta_{3,3}DLP_{it} + \gamma_{3,1}LTE_{it-1} \\
 & + \gamma_{3,2}LET_{it-1} + \gamma_{3,3}LEK_{it-1} + \gamma_{3,4}LP_{it-1} + \epsilon_{3it},
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
 DLTE_{it} = & \alpha_{4i} + \beta_{4,1}DLET_{it} + \beta_{4,2}DLEK_{it} + \beta_{4,3}DLP_{it} + \beta_{4,4}DLI_{it} \\
 & + \gamma_{4,1}LTE_{it-1} + \gamma_{4,2}LET_{it-1} + \gamma_{4,3}LEK_{it-1} + \gamma_{4,4}LP_{it-1} \\
 & + \gamma_{4,5}LI_{it-1} + \epsilon_{4it},
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

As equações (3.3) e (3.4) são compostas por: (i) α_i que representa a constante, (ii) $\beta_{m,k}$ e γ_{ik} que representam os coeficientes para as variáveis consideradas, com $k=1,2,..5$, e (iii) ϵ_{it} que representa o termo de erro.

A tabela 3.2 indica o sumário das estatísticas descritivas das variáveis após a transformação logarítmica e a obtenção das primeiras diferenças. As variáveis apresentam valores para todos os períodos e países considerados, o que implica um painel equilibrado. As estatísticas descritivas para as variáveis originais podem ser consultadas na tabela 1 no capítulo Anexos. A variável de interesse, TE, mostra um comportamento semelhante e crescente para os países analisados à exceção da Noruega, que apresenta uma oscilação elevada ao longo do período analisado, tratando-se do único país entre os analisados com penetração de energia renovável no último ano de análise abaixo do valor obtido no primeiro ano de análise (2000). No que toca a receitas de impostos sobre energia, ocorre uma quebra comum em 2009, com maior notoriedade no caso da Dinamarca. Todos os países mostram uma tendência positiva neste indicador. A formação de capital no setor renovável, resultante de gastos públicos, fornece uma análise distinta para cada país. A Noruega e a Suécia são os únicos países que cons-

tituem o valor máximo no último ano de análise (2019). Os restantes países adquirem os valores máximos nesta componente em meados de 2010 e não chegam a recuperar aos seus históricos nos anos seguintes. Os gráficos referentes a esta análise podem ser consultados nas figuras 1, 2 e 3, localizadas no Anexo. Adicionalmente, apesar das distinções de comportamento entre os países nas variáveis consideradas, após a análise dos valores médios, conclui-se que a tendência geral é positiva para as três variáveis. As figuras 3.1, 3.2 e 3.3 correspondem, respetivamente, ao comportamento médio da transição energética, receita de impostos, e formação de capital no setor energético.

Figura 3.1: Transição Energética

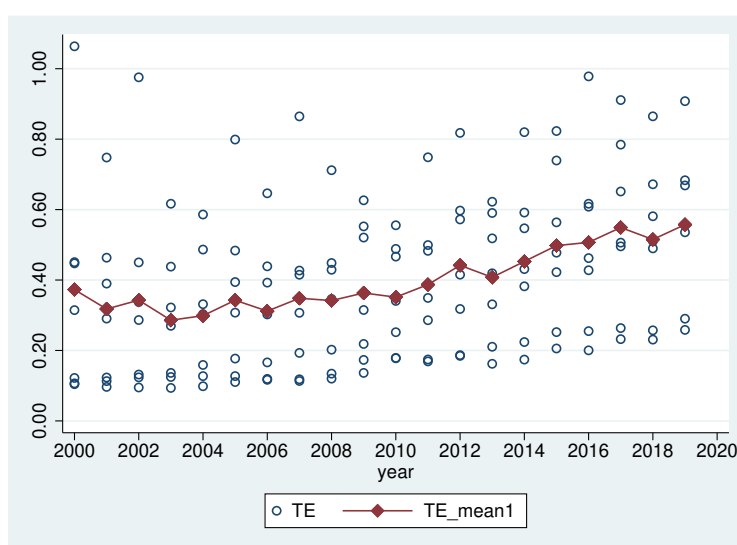


Figura 3.2: Receita de Impostos sobre Energia

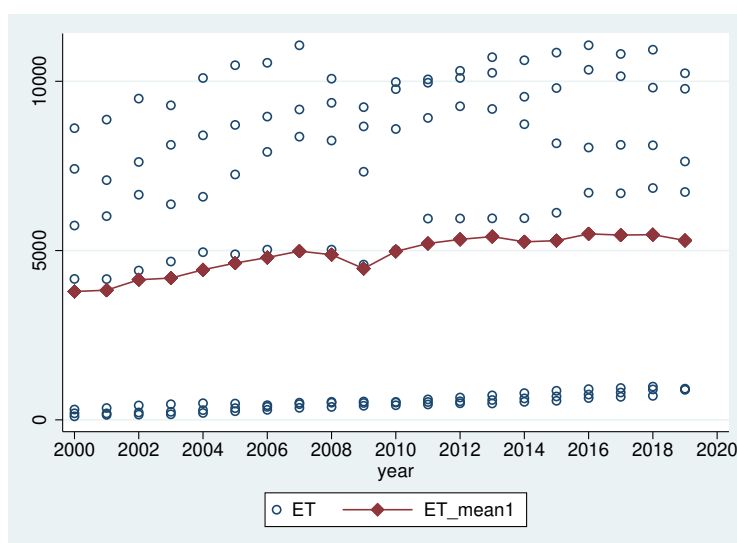
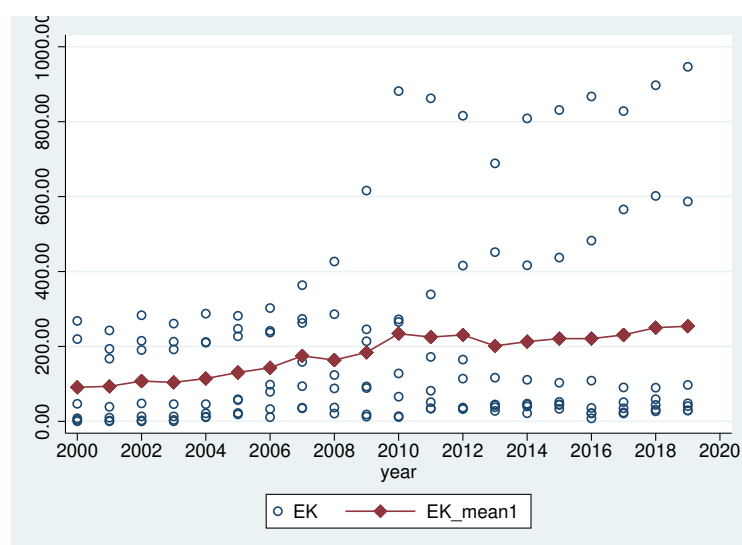


Figura 3.3: Formação Bruta de Capital Fixo no Setor de Energia Renovável



O teste Pesaran CD indica a presença para a dependência seccional em todas as variáveis consideradas, à exceção da DLEK. O resultado deste teste entende-se pela interligação dos países em estudo, tanto pela sua partilha de um mercado energético comum como pela sua integração na União Europeia (à exceção da Noruega) e a partilha de uma orientação política para a sustentabilidade e transição energética.

Tabela 3.2: Estatísticas Descritivas e Teste de Dependência Seccional

Variável	Estatísticas Descritivas					Dependência Seccional		
	Média	DP	Min	Max	Obs	Teste CD	Corr	Abs (corr)
LTE	-1.11	0.65	-2.37	0.06	140	14.89***	0.727	0.727
LET	7.75	1.47	4.65	9.31	140	16.90***	0.825	0.825
LEK	4.26	1.67	-2.30	6.85	140	3.90***	0.191	0.523
LP	10.09	0.73	8.79	11.13	140	8.91***	0.435	0.439
LI	-1.95	0.21	-2.45	-1.47	140	5.49***	0.268	0.378
DLTE	0.03	0.13	-0.46	0.31	133	4.91***	0.246	0.264
DLET	0.05	0.07	-0.12	0.34	133	4.30***	0.215	0.300
DLEK	0.08	0.58	-1.73	4.27	133	0.24	0.012	0.172
DLP	-0.01	0.08	-0.38	0.27	133	10.79***	0.540	0.540
DLI	-0.00	0.10	-0.53	0.32	133	9.07***	0.454	0.454

Nota: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

A presença de colinearidade e multicolinearidade é testada com recurso à análise da matriz de correlação e do fator de inflação da variância - teste VIF¹. A tabela 3.3 apresenta os resultados de VIF para os dois modelos considerados, bem como os valores de correlação entre as variáveis. Apenas a correlação entre o logaritmo da variável de impostos e a poluição apresenta um valor relativamente alto, situando-se em 0.86, o que é compreensível dada a relação direta entre maiores valores de poluição levarem a maiores receitas de impostos sobre a emissão da mesma. No entanto, o teste VIF confirma que a multicolinearidade entre as variáveis não é um problema presente.

Tabela 3.3: Matriz de Correlação e Teste VIF

	LTE	LET	LEK	LP	LI
LTE	1.0000				
LET	0.4936	1.0000			
LEK	0.4801	0.7191	1.0000		
LP	0.1659	0.8619	0.5897	1.0000	
LI	-0.1474	-0.4970	-0.2853	-0.3819	1.0000
VIF		6.13	2.12	3.97	1.37
Média de VIF		3.40			

	DLTE	DLET	DLEK	DLP	DLI
DLTE	1.0000				
DLET	-0.0287	1.0000			
DLEK	-0.0075	0.0289	1.0000		
DLP	-0.3597	0.0635	0.1911	1.0000	
DLI	-0.0460	0.0262	0.1580	0.0641	1.0000
VIF		1.00	1.06	1.04	1.03
Média de VIF		1.03			

No sentido de obter a ordem de integração das variáveis, e à luz da presença de dependência seccional no painel em estudo, os testes de 1ª geração não são eficientes para o propósito. Deste modo, é aplicado o CIPS (Cross-Sectionally Augmented Im-Pesaran-Shin) para a análise. Os resultados deste teste são apresentados na tabela 2 disponível no Anexo, e conferem que nenhuma das variáveis em análise é I(2), tratando-se de variáveis I(0) e I(1).

¹A capacidade elétrica de energia renovável foi considerada na fase inicial do estudo. No entanto, retirou-se do modelo devido a elevados valores de colinearidade.

3.3 Resultados e Discussão

A utilização de dados em painel implica realizar testes que identificam a presença de efeitos fixos ou aleatórios. Como tal, conduzimos a realização do teste Hausman, que compara os modelos em formato de efeitos fixos e no formato de efeitos aleatórios, que pressupõe como hipótese nula que a diferença entre os coeficientes estimados não é sistemática, i.e. o modelo com efeitos aleatórios é o mais apropriado. A rejeição da hipótese nula aponta para o sentido inverso, com o modelo de efeitos fixos é preferível na modelagem do painel. Para o caso presente, há indícios da presença de efeitos fixos para ambos os modelos considerados, que traduz-se na existência de características específicas a cada país sob análise, absorvidos pelo termo independente α_i , com $i=1,2,\dots,7$.

No sentido de testar a presença de heterocedasticidade, com presença de efeitos fixos, procedemos à realização do teste modificado de Wald, que considera como hipótese nula a homocedasticidade. Verifica-se a presença de heterocedasticidade no painel em estudo para ambos os modelos delineados. Procede-se com a realização do teste de Wooldridge no sentido de detetar a presença de autocorrelação no modelo. O teste em questão considera como hipótese nula a ausência de correlação de primeira ordem, hipótese que rejeitamos em ambos os modelos. Por fim, recorremos ao teste de Pesaran para averiguar a presença de dependência seccional, confirmada caso a hipótese nula seja rejeitada. Em contraste com o caso da heterocedasticidade e autocorrelação, não rejeitamos a hipótese nula, o que parece indicar independência dos resíduos entre os países. Procedemos ainda com o teste Frees e Friedman para certificar este resultado. O teste de Friedman rejeita a hipótese nula, indicando a presença de correlação entre os resíduos, mas o teste de Frees volta a confirmar a conclusão obtida pelo teste de Pesaran, rejeitando a hipótese nula no Modelo II a 10%. Procedemos com atenção a estes resultados, assumindo por segurança, a presença de correlação dos resíduos entre as entidades estudadas. Os resultados dos testes referidos encontram-se na tabela 3.4.

Face à presença de heterocedasticidade, autocorrelação e possível dependência seccional, a estimação é realizada com recurso ao estimador Driscoll-Kraay para ambos os modelos formulados. Este estimador toma em consideração a presença das características mencionadas e, conseqüentemente, fornece estimativas com erros padrão robustos.

Após a eliminação dos parâmetros não significantes na estimação, atendendo ao princípio

Tabela 3.4: Teste Hausman e Testes de Especificação

	Modelo I	Modelo II
Teste de Hausman	18.91***	22.07***
Teste Modificado de Wald	88.89***	83.79***
Teste de Pesaran CD	1.33	1.15
Teste de Friedman	26.12***	23.34***
Teste de Frees	0.02	0.16*
Teste de Wooldridge	11.92**	15.31***

da parsimonidade, o Modelo I e Modelo II tomam a forma apresentada nas equações 3.5 e 3.6:

$$DLTE_{it} = \alpha_i + \beta_{3,3}DLP_{it} + \gamma_{3,1}LTE_{it-1} + \gamma_{3,2}LET_{it-1} + \gamma_{3,3}LEK_{it-1} + \gamma_{3,4}LP_{it-1} + \epsilon_{3it}, \quad (3.5)$$

$$DLTE_{it} = \alpha_i + \beta_{4,3}DLP_{it} + \gamma_{4,1}LTE_{it-1} + \gamma_{4,2}LET_{it-1} + \gamma_{4,3}LEK_{it-1} + \gamma_{4,4}LP_{it-1} + \gamma_{4,5}LI_{it-1} + \epsilon_{4it}, \quad (3.6)$$

No modelo I, a receita de impostos e formação de capital fixo não mostram significância estatística a curto prazo, sendo retiradas do modelo. Esta situação repete-se no modelo II, no qual acresce o investimento privado. Dentro do esperado, ambos os coeficientes de impostos e formação de capital aparentam um efeito positivo sobre a evolução da transição energética a longo prazo. A medida de poluição apresenta significância estatística tanto em curto prazo como longo prazo, coerente com a teoria e os objetivos da transição energética, sendo que o recurso a fontes renováveis leva à diminuição imediata da emissão de dióxido de carbono. No modelo II, o investimento privado apresenta significância estatística a longo prazo, curiosamente, com um sinal negativo. Tratando-se de uma variável proxy, toma-se uma postura conservativa sobre tirar conclusões deste valor. Uma das explicações pode estar relacionada com a contração de investimento privado em função do produto interno bruto nos últimos anos, por falta de rentabilidades que justifiquem o comportamento desejado dos mercados. Outra hipótese pode ser estar relacionada com dificuldades do setor privado a ajustar-se à transição energética, o que aumenta a necessidade da atividade política para o fomento para

o crescimento do setor de energias renováveis. Os resultados da estimação do Modelo I e Modelo II encontram-se na tabela 3.5.

Tabela 3.5: Resultados de Estimação

Variável dependente: DLTE	Modelo I	Modelo II
Constante	3.96490***	4.12225***
DLP	-0.68754***	-0.70790***
LTE(-1)	-0.30600***	-0.31948***
LET(-1)	0.11060***	0.08406***
LEK(-1)	0.02362**	0.02524***
LP(-1)	-0.51848***	-0.53938***
LI(-1)		-0.12143*
N	133	133
R ²	0.2989	0.3140
F	F(5,18)= 48.48***	F(6,18)=40.44***

Tabela 3.6: Resultados de Estimação com Inclusão de Dummies

Variável dependente: DLTE	Modelo I	Modelo II
Constante	2.56081**	2.69161**
DLP	-0.63484***	-0.65095***
LTE(-1)	-0.22289***	-0.23304***
LET(-1)	0.08888**	0.06821*
LEK(-1)	0.02082**	0.02189**
LP(-1)	-0.35306**	-0.36945**
LI(-1)		-0.09171*
NOR2002	0.32386***	0.30957***
NOR2003	-0.33125***	-0.34289***
NOR2005	0.30839***	0.28769***
NOR2007	0.33109***	0.32741***
NOR2013	-0.23634***	-0.22930***
NOR2014	0.25438***	0.26105***
SWE2015	0.28112***	0.28338***
N	133	133
R ²	0.5817	0.5899
F	F(12,18)= 185.05***	F(13,18)=207.99***

No sentido de corrigir choques, é realizada uma análise aos resíduos, como aplicado por Fuinhas et al. (2017), com inclusão de dummies para absorver os outliers observados. Deste modo, são criadas as dummies para a Noruega (2002, 2003, 2005, 2007, 2013 e 2014) e para a Suécia (2015). A estimação com a inclusão das dummies para ambos os modelos é apresentada na tabela 3.6. A inclusão de dummies leva a uma diminuição da significância estatística das receitas de impostos sobre energia em ambos os modelos, bem como do efeito da formação do capital fixo no modelo II. Os coeficientes baixam ligeiramente, em termos absolutos, com especial impacto no coeficiente da emissão de dióxido de carbono a longo prazo. No que toca ao coeficiente de ECM, representativo da velocidade de ajustamento ao equilíbrio da variável DLTE, é negativo em todos os casos e estatisticamente significativo. Isto junto com o facto do valor ser relativamente baixo, permite assumir que o ajuste da DLTE é demorado após variações nas variáveis explicativas incluídas no modelo. Adicionalmente, após a adição de dummies ao modelo, o valor de ECM baixa, em termos absolutos, cerca de 28% a 30%, o que parece apontar para uma sensibilidade considerável do ECM a choques.

Como apresentado pelo Hašič et. al. (2015), os coeficientes positivos obtidos para as ferramentas públicas de incentivo à transição energética mostram um efeito significativo e positivo na substituição da oferta de energia não renovável para energia renovável. Conclusões semelhantes são apresentadas por Behrens et. al. (2016) para o caso de Portugal. No entanto, em linha com as conclusões de Cheng et. al. (2021) sobre a Suécia, poderá ser necessário repensar a estratégia aplicada a esta temática numa perspetiva individual para cada país, dado que os coeficientes estimados para estes instrumentos no presente estudo apresentam valores relativamente baixos, o que levanta a questão, também argumentada por Cheng et. al. (2021) sobre a eficiência e eficácia das atuais estratégias. Com a penetração significativa das energias renováveis numa economia, seguindo o caso sueco, a revisão da estratégia torna-se igualmente relevante devido ao risco que impõe sobre as receitas do Estado. A resultante diminuição de emissões de dióxido de carbono, como apresenta Schiebe (2019), tem como consequência a diminuição de faturação proveniente de impostos sobre esta área, que irão colocar pressão nas contas do Estado. Disto vem que a planificação da transição energética impõe a necessidade de incluir potenciais soluções para as externalidades resultantes deste processo. Informação adicional quanto ao debate sobre o imposto de dióxido de carbono pode ser encontrada em Booth e Whyte (2018), num artigo apresentado para o IEA (Institute of Economic Affairs).

Os resultados, inclusive, aparentam apoiar a exposição qualitativa de Blasquez et. al. (2020) quanto à necessidade de ação ativa do governo sobre a transição energética. Adicionalmente, o comportamento do investimento privado, de coeficiente negativo, poderá validar o argumento, apresentado neste estudo, quanto à destabilização do mercado energético, sob a sua forma atual, levar a uma contração do apetite dos investidores face à resultante volatilidade de preços.

Capítulo 4

Conclusão

Considerando sete países do Norte da Europa, para o período de 2000 a 2019, é analisado o efeito das medidas governamentais sobre a transição energética (modelo I), bem como o efeito do setor privado através da proxy de investimento privado (modelo II). Com o intuito de decompor os efeitos entre curto e longo prazo, a formulação é realizada com recurso ao modelo ARDL. A confirmação da presença de efeitos fixos, junto com a presença de autocorrelação, heterocedasticidade e possível correlação entre os resíduos motiva a seleção do estimador de Driscoll-Kraay. Adicionalmente, tomando em conta a presença de choques na análise descritiva, é realizada uma segunda estimação com incorporação de dummies para controlar choques.

Os resultados obtidos apontam um efeito positivo das medidas governamentais a longo prazo, apenas com a emissão de dióxido de carbono a apresentar significância estatística a curto prazo, em ambos os modelos. O investimento privado apresenta significância estatística no longo prazo (modelo II), com sinal negativo, o que pode indicar que existe alguma dificuldade do setor privado de se ajustar à transição energética, seja pelos custos associados de transformação dos equipamentos, seja pela incerteza associada ao mercado de energia renovável. É uma questão pertinente para futura investigação, que pode ser aprofundada com acesso a dados mais incisivos sobre o comportamento do setor privado - por exemplo, através do investimento direto em energia renovável ou com análise aos níveis de investimento de cada setor.

Face aos resultados obtidos, a significância estatística a longo prazo das medidas governamentais aponta para a necessidade de implementação destas medidas com horizontes temporais longos, no sentido de garantir que o seu efeito não é desfeito. Por outro lado, o com-

portamento sensível do ECM com a introdução de dummies leva a considerar a importância de manter os compromissos neste tema face a choques de curto prazo, perante o risco dos esforços tornarem-se irrelevantes.

Perante a presença de efeitos fixos, é recomendável que cada governo analise a estrutura da sua economia e crie o pacote de incentivos à luz da mesma. Adicionalmente, os valores dos coeficientes conduzem à percepção de que outros fatores não incluídos no modelo terão uma relevância significativa na transição energética. Isto deve motivar um estudo futuro com a decomposição das diferentes políticas e o respetivo efeito, de modo a delinear uma estratégia que resulte na alocação de fundos públicos eficiente, para além de diminuir efeitos negativos de futuros choques.

Anexos

Figura 1: Transição Energética por País

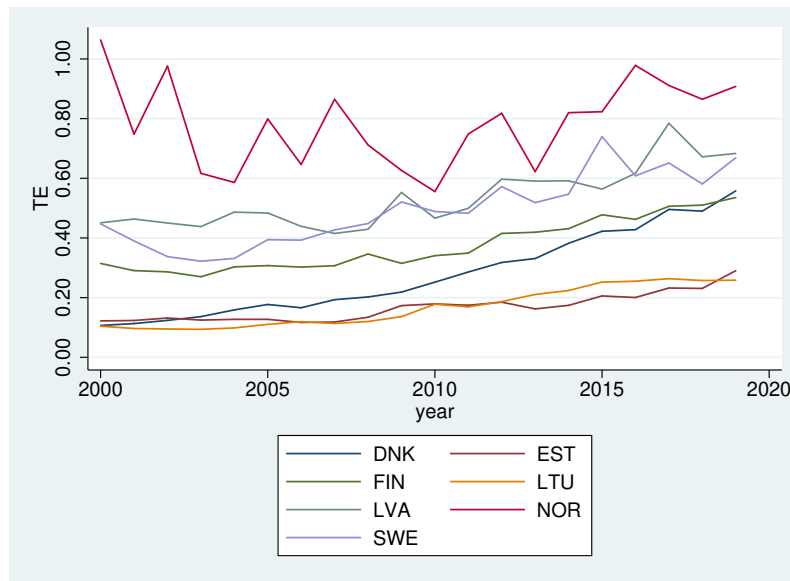


Figura 3 Os códigos de cada país referem-se à Dinamarca (DNK), Finlândia (FIN), Letónia (LVA), Suécia (SWE), Estónia (EST), Lituânia (LTU), e Noruega (NOR). Os valores apresentados referem-se às variáveis antes de qualquer transformação.

Figura 2: Receita de Impostos sobre Energia por País

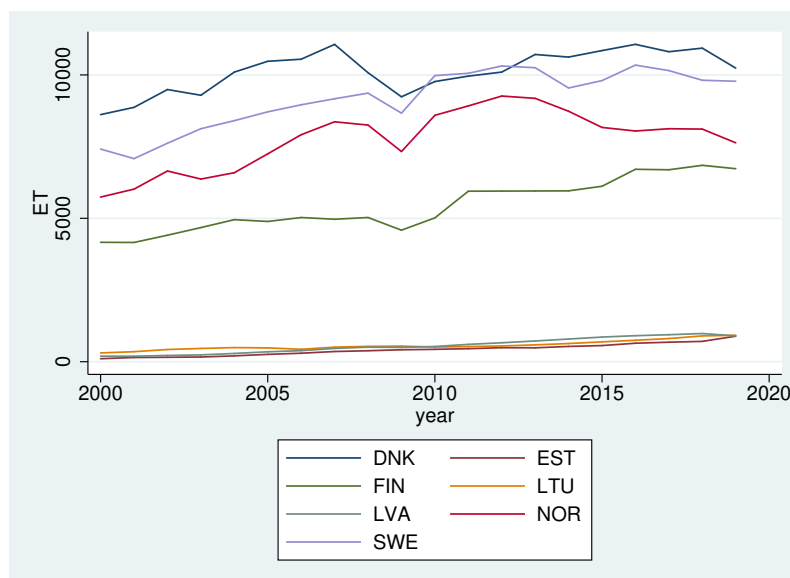


Figura 3 Os códigos de cada país referem-se à Dinamarca (DNK), Finlândia (FIN), Letónia (LVA), Suécia (SWE), Estónia (EST), Lituânia (LTU), e Noruega (NOR). Os valores apresentados referem-se às variáveis antes de qualquer transformação.

Figura 3: Formação de Capital Fixo por País

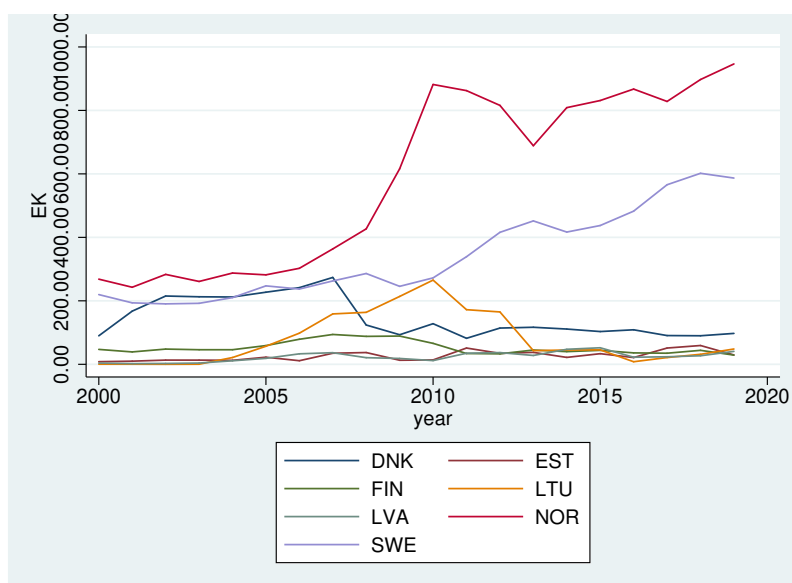


Figura 3 Os códigos de cada país referem-se à Dinamarca (DNK), Finlândia (FIN), Letónia (LVA), Suécia (SWE), Estónia (EST), Lituânia (LTU), e Noruega (NOR). Os valores apresentados referem-se às variáveis antes de qualquer transformação.

Tabela 1: Estatísticas Descritivas das Variáveis Originais

Variável	Média	DP	Min	Max	Obs
TE	0.40	0.23	0.09	1.06	140.00
ETA	3,154.39	2,656.13	76.06	8,384.67	140.00
EK	179.44	231.10	0.10	946.50	140.00
P	31,102.06	17,859.16	7,065.64	69,378.58	140.00
I	0.15	0.03	0.09	0.23	140.00

Tabela 2: Resultados de teste CIPS - ordem de integração das variáveis

	CIPS Zt-bar	
	Sem Tendência	Com Tendência
LTE	-1.956**	-1.222
LET	0.564	0.098
LEK	-0.160	-1.932**
LP	3.315	1.011
LI	0.864	-0.788
DLTE	-4.241***	-2.760***
DLET	-2.416***	-0.608
DLEK	-3.792***	-2.014 **
DLP	-3.014***	-1.996**
DLI	-1.972**	0.157

Nota: O teste assume dependência seccional e a hipótese nula é que a série em questão é I(1).
*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$.



Bibliografia

- [1] Fuinhas, J.A., Marques, A. C., Koengkan, M. (2017). Are renewable energy policies upsetting carbon dioxide emissions? The case of Latin America countries. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 24(17), 15044-15054. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9109-z>
- [2] Behrens, P., Rodrigues, J. F. D., Brás, T., Silva, C., (2016). Environmental, economic, and social impacts of feed-in tariffs: A Portuguese perspective 2000–2010. *Applied Energy*, 173, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.044>
- [3] Blazquez, J., Fuentes-Bracamontes, R., Bollino, C. A., Nezamuddin, N. (2018). The renewable energy policy Paradox, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.002>
- [4] Booth, P., Whyte, J. (2018, Novembro 6). Debate: The pros and cons of carbon taxes [Artigo de Opinião]. Obtido em Fevereiro 2, 2022 de <https://iea.org.uk/debate-the-pros-and-cons-of-carbon-taxes/>
- [5] Cheng, Y., Sinha, A., Ghosh, V., Sengupta, T., Luo, H. (2021). Carbon tax and energy innovation at crossroads of carbon neutrality: Designing a sustainable decarbonization policy, *Journal of Environmental Management*, (294), 112957, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112957>
- [6] Fernandes, M.C., Dias e J.C., Nunes, J.V. (2021). Modeling energy prices under energy transition: A novel stochastic-copula approach. *Economic Modelling*, 105, 105671. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2021.105671>
- [7] Fuinhas, J.A., Marques, A. C., Koengkan, M. (2017). Are renewable energy policies upsetting carbon dioxide emissions? The case of Latin America countries. *Environ Sci Pollut Res Int.*, 24(17), 15044-15054. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9109-z>
- [8] Haščič, I., et al. (2015). Public Interventions and Private Climate Finance Flows: Empirical Evidence from Renewable Energy Financing. *OECD Environment Working Papers*, 80, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/5js6b1r9lfd4-en>
- [9] Schiebe, T. (2019, Outubro 18). Should every country on earth copy Sweden's carbon tax? [Artigo de Opinião]. Obtido em Janeiro 25, 2022 de <https://www.carbonpricingleadership.org/blogs/2019/10/18/should-every-country-on-earth-copy-swedens-carbon-tax>