



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências Sociais e Humanas

As exportações de eletricidade e a diversificação das fontes de geração

Sónia Margarida Sousa Figueiredo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Economia
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor António Manuel Cardoso Marques
Co-orientador: Prof. Doutor José Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas

Universidade da Beira Interior, Covilhã 2012, Portugal.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências Sociais e Humanas

As exportações de eletricidade e a diversificação das fontes de geração

Tese submetida à Universidade da Beira Interior para o preenchimento dos requisitos para a concessão do grau de Mestre em Economia, efetuada sob a orientação do Professor Doutor António Manuel Cardoso Marques e coorientação do Professor José Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas

Sónia Margarida Sousa Figueiredo

Universidade da Beira Interior, Covilhã 2012, Portugal.

Agradecimentos

Para a elaboração da presente dissertação foi fundamental o apoio de todos aqueles que me são mais queridos. Destaco a dedicação, motivação, simpatia do Professor Doutor António Manuel Cardoso Marques e Professor Doutor José Alberto Serra Ferreira Rodrigues Fuinhas.

Agradeço também a todos os amigos e familiares, principalmente ao Júlio e aos meus pais, pela sua força, ajuda e motivação que me acompanharam ao longo deste ano de trabalho.

Resumo

Neste trabalho, analisamos os determinantes que contribuem para o aumento das exportações de eletricidade, em 16 países da União Europeia (UE), para o período 1994-2009. Os estimadores usuais de dados em painel, efeitos aleatórios e efeitos fixos são testados. Testamos o efeito do mix energético nas exportações de eletricidade segundo duas abordagens: i) abordagem das capacidades instaladas; e ii) concretização das capacidades instaladas na eletricidade gerada por fontes. A capacidade instalada hídrica contribui de forma positiva para as exportações de eletricidade, assim como a eletricidade gerada pelo vento. Por outro lado a capacidade instalada e a eletricidade gerada solar têm um efeito negativo e estatisticamente significativo nas exportações de eletricidade. A eletricidade gerada pelo carvão e petróleo apresentam um efeito positivo nas exportações de eletricidade, ao contrário da eletricidade gerada pelo gás e capacidade instalada nuclear que tem um efeito negativo. Deste modo clarificamos e contribuímos com uma análise empírica para a literatura sobre o impacto de alguns determinantes nas exportações de eletricidade.

Palavras-chave

Energias Renováveis; Exportações de eletricidade; Intermitência; Capacidade Instalada fóssil e renovável.

Abstract

The determinants that contribute to increased exports of electricity is analyzed empirically by using the panel data estimators, random effects and fixed effects for a 16 European Union countries from 1994 to 2009. The effect of the energy mix is tested in exports of electricity according to two approaches: i) approach of installed capacity; ii) achievement of the capacity in the electricity generated by sources. The installed capacity of hydropower contributes positively to exports of electricity, as electricity generated by wind. On the other hand the installed capacity and solar electricity generated have a statistically significant negative effect on exports of electricity. The electricity generated by coal and oil have a positive effect on exports of electricity, instead, the electricity generated by the gas and nuclear capacity have a negative effect. We added to the literature an empirical analysis of the impact of some possible determinative on exports of electricity.

Keywords

Renewable Energy; Exports of Electricity; Intermittence; Renewable and Fossil Power Plants.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Revisão da Literatura	3
3. Dados e Métodos	6
3.1. Dados	6
3.2. Método.....	12
4. Resultados.....	14
4.1. Capacidades instaladas	14
4.2. Geração de eletricidade por fontes	16
5. Discussão dos resultados	18
6. Conclusão	21
7. Referências.....	22
8. Apêndice	25

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estatísticas Descritivas

Tabela 2 - Matriz das correlações do modelo com capacidades instaladas

Tabela 3 - Matriz das correlações do modelo com eletricidade gerada por fonte

Tabela 4 - Apresentação dos resultados modelo capacidades instaladas

Tabela 5 - Apresentação dos resultados modelo geração de eletricidade por fonte

Lista de Figuras

Figura 1 - Média das exportações de eletricidade por país no período de 1994 a 2009

Lista de Acrónimos

UE	União Europeia
OLS	Ordinary Least Squares
CO ₂	Dióxido de carbono
PIB	Produto Interno Bruto
AEI	Agencia Internacional de Energia
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases de efeito Estufa
Gwh	Gigawatt hora
Mwh	Megawatt hora
Km ²	Quilómetro quadrado
VIF	Variance Inflation Factor
STATA	Data Analysis and Statistical Software

1. Introdução

O mercado elétrico europeu aposta na produção de eletricidade a partir de fontes renováveis. A implementação destas fontes de energia em grande escala, é uma prioridade europeia (Comissão Europeia, 2007). Esta tendência acentua-se com a formulação de políticas energéticas que impõe a sua implementação, exemplo é o Tratado da UE de 2010. O crescimento das renováveis provoca novos desafios aos decisores de políticas energéticas, desde logo como incorporar quantidades crescentes de eletricidade intermitente. Esta característica exige soluções para suprir os momentos de escassa produção, assim como evitar o desaproveitamento de eletricidade em momento de excesso de produção. As exportações e consequentes importações de eletricidade surgem como uma solução possível.

As trocas comerciais entre países aplicam-se cada vez mais, também, ao mercado elétrico. As exportações de eletricidade surgem como um importante intercâmbio de relações entre países. Este fenómeno tem crescido entre os países da União Europeia (UE), que no geral têm verificado um aumento nas exportações de eletricidade. Este facto despertou-nos o interesse em estudar o efeito das diversas fontes de produção de eletricidade nas exportações. A história indica que os efeitos negativos da dependência energética, incentivam os países dependentes a dinamizarem estratégias capazes de contornar essa dependência. Devido a estas perspetivas, os governos e as populações demonstram despertar para os desafios que surgem em redor do setor energético. Nesse sentido, a UE, tal como referido, tem definido orientações no sentido dos países membros diversificarem o seu portfólio energético, abrangendo fontes alternativas de energia, a fim de diminuir a dependência pelos combustíveis fósseis. As energias renováveis passam a ter um papel importante no fornecimento de energia, por serem fontes endógenas “oferecidas” em abundância na natureza.

No entanto, a busca pela independência energética pode estar a provocar uma nova dependência pois, apesar da crescente evolução da tecnologia, a impressibilidade e intermitência, continuam a ser características destas fontes (exemplo: sol e vento). Desse modo, requerem a existência de fontes alternativas, capazes de suprir os períodos em que esses recursos não estão disponíveis. Centrais de produção que permitam o armazenamento das fontes de produção, como por exemplo, centrais a carvão, gás, petróleo, ou a renovável hídrica, serão necessárias na composição do portfólio energético. O crescimento das renováveis juntamente com a necessidade de manutenção das capacidades fósseis pode estar a influenciar as exportações de eletricidade, referidas como importantes e como uma solução para países que apostam em fontes intermitentes (Jacobson e Zvingilte, 2010; Purvins et al., 2012). A dimensão da rede elétrica e interligação de países com diferentes características (climáticas por exemplo) permite a incorporação de mais fontes intermitentes, o qual pode já ser associado ao aumento das trocas entre os países. Deste modo colocam-se as seguintes

questões: i) estão as capacidades instaladas renováveis a ter o mesmo efeito que as fósseis nas exportações de eletricidade, tendo em conta a maturação da tecnologia?; ii) De que forma estão as capacidades instaladas a influenciar as exportações de eletricidade?; iii) De que forma está a eletricidade gerada por fontes a contribuir para as exportações de eletricidade?

O objetivo deste trabalho é analisar os fatores que influenciam as exportações de eletricidade em 16 países da UE de 1994 a 2009 através de estimadores de dados em painel. Testamos o impacto das capacidades instaladas das renováveis, assim como da nuclear. Para além das capacidades, a produção de eletricidade por fontes, a intensidade de CO2 na energia consumida, a energia produzida, a densidade populacional e o crescimento do PIB, são fatores tidos em conta.

O restante trabalho estrutura-se da seguinte forma. No ponto 2 é apresentada uma revisão de literatura que foca a importância das energias renováveis, na intermitência, bem como na exportação de eletricidade. No ponto 3 são apresentados os dados e variáveis usadas no estudo, para além da metodologia utilizada. No ponto 4 apresentam-se as estimações e análise aos resultados obtidos. Os resultados são discutidos no ponto 5, e no ponto 6 apresentam-se as conclusões gerais do trabalho.

2. Revisão da Literatura

Desde que o problema do aquecimento global e das mudanças climáticas são reconhecidos como preocupantes, tem-se assistido a uma crescente atenção por parte dos decisores políticos e dos reguladores de energia focada no uso de tecnologias alternativas de energia (Zahedi, 2011). De facto, o uso intensivo da energia na sociedade, nas mais variadas formas, tem originado a destruição progressiva do meio ambiente e da qualidade de vida, pelo que apostar nas energias renováveis para reduzir a importação de combustíveis fósseis tornou-se num dos principais objetivos de alguns países.

De facto estes, a redução da dependência energética e a as preocupações ambientais (diminuição das emissões de gases de efeito de estufa), incentivaram os países a adotarem políticas favoráveis à instalação de fontes alternativas e favoráveis ao meio ambiente. Estas políticas, podem estar na base do crescimento das renováveis ao longo dos anos. O trabalho de Prasad e Munch (2012), avalia o impacto da implementação de um conjunto de políticas direcionadas para as renováveis nos EUA no qual os autores referem que apesar de ainda não ter havido, até à data, nenhuma avaliação empírica relativa ao efeito dessas políticas, muitas vezes o aumento de eletricidade produzida através das fontes renováveis não conduz à diminuição das emissões de carbono no próprio país. No entanto, os países vizinhos poderão beneficiar dessa aposta em energia limpa, uma vez que, havendo excesso de produção, essa energia limpa, sem emissões de CO₂ associadas, pode ser importada (Prasad e Munch, 2012), facto que já havia sido notado no trabalho de Frondel et al. (2009). Tal fenómeno pode estar associado à necessidade de existência de centrais de produção de reserva (tendencialmente alimentadas a combustíveis fósseis), nos países que apostam nas energias renováveis intermitentes, (Glasnovic e Margeta, 2011), ao contrário dos países vizinhos que beneficiam da eletricidade limpa em momentos favoráveis à produção das renováveis, quando excessiva nos países de origem.

De acordo com a literatura, as energias renováveis estão a crescer mais rápido que o mercado global de energia (Varun et al., 2009). A longo prazo é esperado uma utilização maior de tecnologias renováveis, tal como a eólica, solar, geotérmica e hídrica (Nikolakakis e Fthenakis, 2011). Até meados do século XXI a procura por energias renováveis, pelos países, poderá chegar até 50% da procura total de energia, através de políticas apropriadas e de desenvolvimentos tecnológicos (Varun et al., 2009). Pode ainda acrescentar-se que, nas últimas duas décadas, o uso de energia solar e energia eólica aumentou tão rapidamente que estas duas tecnologias são consideradas como “histórias de sucesso”, pois para além de garantirem a sustentabilidade ambiental futura promovem a inovação tecnológica (Zahedi, 2011), no entanto salienta como fraqueza algumas das suas características, como a intermitência.

A energia obtida através de fontes renováveis substitui outras formas de geração de eletricidade, diminuindo assim os custos com os combustíveis e os gases de efeito de estufa

(GEE) (Luickx et al., 2010). No entanto, a variabilidade e imprevisibilidade, limita estas fontes, pois dependem de fatores incontrolláveis como o estado do tempo (sol e vento), o que torna a produção de eletricidade mais variável e menos previsível (Welle e Joode, 2011). Devido ao problema da intermitência aliado ao facto do elevado custo económico que implicaria o seu armazenamento, os sistemas de energia eléctrica, que utilizam principalmente fontes renováveis, onde a energia solar e eólica prevalecem, podem não conseguir garantir fornecimento contínuo de energia aos consumidores (Glasnovic e Margeta, 2011).

Pela razão descrita em cima, as fontes de energia renovável solar e eólica não são fontes estáveis para o sistema de energia eléctrico. A aposta em energias renováveis implica também o desenvolvimento e a utilização de fontes que garantam quer estabilidade na produção quer um sistema de energia eléctrica sustentável (Glasnovic e Margeta, 2011). Segundo as diretrizes estabelecidas pela Comissão Europeia no Green Paper em 2006, a diversificação do portefólio deve ser um dos objetivos principais a serem alcançados pelos países da UE. Este objetivo tem de ter em conta a natureza das diferentes trocas entre países e visa alcançar os desafios económicos, sociais e ambientais que a Europa enfrenta no setor da energia: dependência crescente das importações fósseis, a volatilidade do preço dos combustíveis, as alterações climáticas, o aumento da procura (Dassisti e Carnimeo, 2012). Marrero e Remos-Real (2010) apontam para que o papel das energias renováveis, bem como a sua complementaridade com os combustíveis fósseis, apresentem um caminho sólido para o alcance dos principais objetivos políticos de energia.

Com a inclusão das energias renováveis no portefólio energético de um país, e devido às suas características de intermitência, é necessário ter em conta a dimensão e a localização da rede eléctrica. A aposta nas renováveis pode permitir que os países anteriormente importadores de energia possam exportar eletricidade gerada assim que a procura doméstica seja satisfeita (Supersberger e Fuhrer, 2011). A eletricidade gerada pode ser utilizada para atender à procura, ou ser exportada para outros países (Kost et al., 2011). A intermitência e imprevisibilidade de algumas renováveis, como é o caso da energia eólica, pode causar dois efeitos: i) por um lado a ocorrência de períodos não favoráveis à produção deste tipo de eletricidade pode originar escassez, necessitando de se recorrer a centrais de reserva ou à importação de eletricidade de países vizinhos; e ii) por outro lado, pode originar em períodos favoráveis ao excesso de produção sendo a exportação uma solução para dar utilidade a essa eletricidade e capacidade instalada (Jacobson e Zvingilte, 2010). Podemos salientar ainda a correlação entre a energia eólica e as exportações de eletricidade, mostrada por Mignard et al. (2007). De facto a inclusão da energia eólica no mix energético tem sido amplamente debatido na literatura, Purvins et al. (2012) concluem que a instalação de um novo parque eólico influencia a ocorrência de défice ou excesso de energia no sistema eléctrico e que em condições de excesso de energia a probabilidade de ocorrência de exportações aumenta. Bove et al. (2012) partilham a mesma ideia, ao afirmar que o excesso de eletricidade gerada pelo vento pode ser reduzida, armazenada ou exportada para outro país. Cada estratégia de integração de fontes de energia renováveis deve ser cuidadosamente analisada à escala

nacional e europeia, não descurando os aspetos económicos do intercâmbio de energia (Purvins et al., 2012).

Deste modo, a localização da rede bem como a sua dimensão deverão ser fatores considerados quando a decisão da percentagem que as energias intermitentes deverão ter no mix energético de um país. Neste caso países centrais, com facilidade de interligação com outras redes elétricas poderão incorporar maiores níveis deste tipo de produção de eletricidade que redes isoladas, as quais terão mais dificuldades em contornar problemas como a escassez ou excesso de produção. De acordo com um estudo realizado a um sistema energético isolado (exemplo: uma ilha) dentro da UE, as redes isoladas apresentam um conjunto de características que normalmente implicam uma dependência maior de energia e vulnerabilidade, exigindo assim a necessidade de um planeamento específico (Marrero e Ramos-Real, 2010). Segundo estes autores, devido ao isolamento da rede existe um aumento do custo e da incerteza da eletricidade. Esse aumento é causado pelo custo no fornecimento de eletricidade, que é originado entre outras coisas, pelos elevados custos dos transportes, resultante da distância das fontes de abastecimento (Weisser, 2004). A natureza irregular e de interrupção das fontes renováveis, juntamente com o isolamento da economia, podem condicionar a penetração das renováveis nestes sistemas isolados (Marrero e Ramos-Real, 2010). No estudo realizado às Ilhas Canárias, os autores concluem que deve existir uma complementaridade entre energias fósseis (em particular gás natural) e energias renováveis.

Surpreendentemente, porém, poucas pesquisas têm sido realizadas sobre quais os fatores que podem estar a influenciar as exportações de eletricidade. Nesse sentido propomos no nosso trabalho a realização de uma avaliação empírica de 16 países europeus, aos determinantes das exportações de eletricidade, preenchendo essa lacuna existente na literatura.

3. Dados e Métodos

Nesta secção apresentamos, descrevemos e analisamos a base de dados, assim como as fontes e as suas características específicas. Uma completa compreensão da base de dados permitirá a utilização de uma correta metodologia, assim como, compreender o objetivo principal do trabalho.

Tendo em conta o objetivo do trabalho, a disponibilidade e a natureza dos dados, pretendemos compreender quais os determinantes que estão a influenciar as exportações de eletricidade, através de duas abordagens: i) com capacidades instaladas; ii) através de um modelo com eletricidade gerada. Esta opção para além de corrigir os altos níveis de correlação, que estariam presentes entre capacidade instalada e eletricidade gerada se fossem estimadas em conjunto, permite ainda avaliar a concretização das capacidades instaladas através da eletricidade gerada nas exportações de eletricidade, assim como perceber quais os efeitos das diferentes fontes de produção do mix energético.

3.1. Dados

Para este estudo foi considerado o período de 1994 a 2009 para um conjunto de 16 países da União Europeia: Bélgica, República Checa, Dinamarca, Alemanha, Irlanda, Grécia, Espanha, França, Itália, Holanda, Áustria, Polónia, Portugal, Finlândia, Suécia e Reino Unido. A escolha destes países deveu-se à disponibilidade de informação completa para os anos e variáveis estudadas, construindo um painel balanceado.

Através de uma análise empírica a 16 países da União Europeia, esta investigação pretende analisar o impacto das diversas fontes do mix energético nas exportações de eletricidade (EXPORELEC). Serão estimados e apresentados dois modelos. Num primeiro momento são usadas as capacidades instaladas das diversas fontes, a intensidade de CO₂ na energia consumida, a energia produzida, a densidade populacional e o crescimento anual do PIB. Num segundo momento, controlamos o efeito da geração de eletricidade por fontes, a intensidade de CO₂ na energia consumida, a densidade populacional e o crescimento anual do PIB. A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas.

Tabela 1- Estatísticas descritivas

Variáveis	Descrição das variáveis	Fonte	Obs	Média	Desvio Padrão	Min	Max	Sinal Esperado
EXPTELEC _{i,t}	Total das exportações de eletricidade para os 27 países da UE (GWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	10522.48	9528.192	0	49937	
WINDCAP _{i,t}	Capacidade Instalada eólica (MWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	1658.059	4021.247	0	25777	+

SOLRCAP_{i,t}	Capacidade instalada solar (MWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	147.4297	8163.817	0	9800	+
MUNCAP_{i,t}	Capacidade instalada dos resíduos municipais (MWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	190.168	264.3976	0	1460	+
HYDRCAP_{i,t}	Capacidade instalada hídrica (MWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	7596.543	7916.516	9	25317	-
NUCLCAP_{i,t}	Capacidade instalada nuclear (MWh)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	7786.16	15295.59	0	63363	+/-
ELECWIND_{i,t}	Eletricidade gerada a partir do vento (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	240.9414	583.3434	0	3488	+
ELECSOLR_{i,t}	Eletricidade gerada a partir do sol (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	10.39453	58.64848	0	566	+/-
ELECGEO_{i,t}	Eletricidade gerada a partir de energia geotérmica (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	299.3281	1152.082	0	5569	+
ELECGAS_{i,t}	Eletricidade gerada a partir do gás (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	1632.285	2819.338	9	13312	+/-
ELECOIL_{i,t}	Eletricidade gerada a partir do petróleo (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	9569.52	19921.68	115	120800	+/-
ELECCOAL_{i,t}	Eletricidade gerada a partir do carvão (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	55792.51	74940.14	890	320106	+/-
ELECNUL_{i,t}	Eletricidade gerada a partir da energia nuclear (Milhares de toneladas em petróleo equivalente)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	54925.38	103321.2	0	451529	+/-
ENGYPRO_{i,t}	Energia Produzida (Milhares de toneladas em petróleo)	<i>World Bank, World Development , Indicators Database</i>	256	53439.52	63170.79	1405.65	281584.4	+

	<i>equivalente)</i>							
CO2INT_{i,t}	Intensidade de CO2 na energia consumida (índice 2000=100)	<i>Eurostat, statistics database.</i>	256	99.58555	5.302066	86.4	119.6	+/-
POPENS_{i,t}	Densidade populacional (pessoas/ Km ²)	<i>World Bank, World Development, Indicators Database</i>	256	154.2895	117.1812	16.7077	489.6442	+
GDPGRW_{i,t}	Crescimento do Produto Interno Bruto (anual %)	<i>World Bank, World Development, Indicators Database</i>	256	2.581546	2.670254	-8.35431	11.49729	+/-

As variáveis explicativas, utilizadas para compreender os drivers das exportações de eletricidade, em geral, são consistentes com a literatura. De seguida, são exploradas cada uma dessas variáveis, onde fica patente o poder explicativo que poderão ter na variável dependente.

- **Variável Dependente**

A variável dependente analisada são as exportações de eletricidade (EXPTELEC). Pretende-se, assim, ampliar a literatura sobre as exportações de eletricidade: i) Percebendo qual o impacto das renováveis caracterizadas pela intermitência, nas exportações de eletricidade; ii) analisando quais os determinantes que contribuem para as exportações. A figura 1 mostra a média das exportações de eletricidade por país no período de 1994 a 2009.

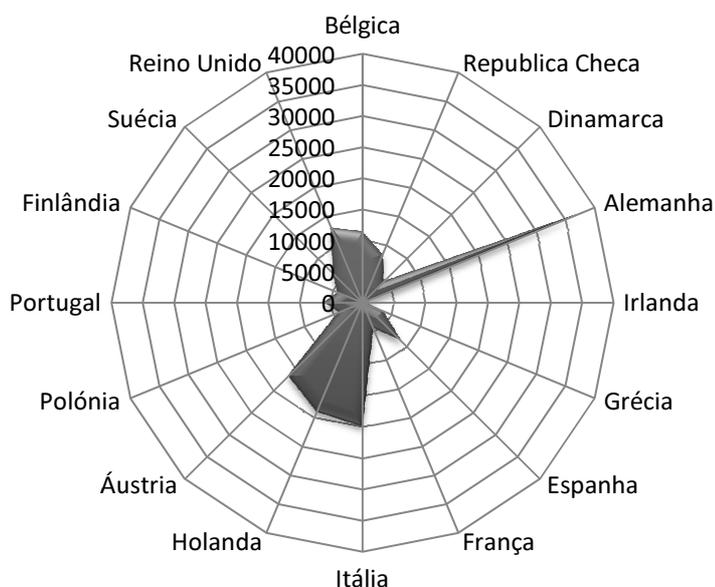


Figura 1 - Média das exportações de eletricidade por país no período de 1994 a 2009

Em geral para os países do painel as exportações de eletricidade apresentam crescimento desde 1994 até 2005, altura em que apresentam uma quebra. Destacamos ainda que a partir de 2001 o padrão das exportações é mais variável, ou seja, não apresentam uma tendência definida, verificando-se várias oscilações, quer de subida, quer descida. Este facto, pode ser mais um argumento para a importância deste estudo, que incorpora novos drivers com crescimento significativo a partir de 2001, como as energias renováveis. Da figura 1 observamos que para o painel, a Alemanha é a que lidera as exportações de eletricidade apresentando uma média de exportações superior, ao contrário da Irlanda que apresenta uma média de exportações menor em comparação com os outros países. Se é fácil compreensão a Irlanda ser a que menor exporta, uma vez que se situa isolada, a localização central da Alemanha, associada ao crescimento das energias renováveis e manutenção da capacidade fóssil e nuclear, são razões que contribuem para essa liderança.

- ***Capacidade instalada eólica (WINDCAP) e eletricidade gerada pelo vento (ELECWIND)***

A energia eólica caracteriza-se principalmente pela sua intermitência. É esperado que a capacidade instalada e eletricidade gerada pelo vento, que têm tido crescido nos últimos anos (Varun et al., 2009), influenciem positivamente as exportações de eletricidade, uma vez que para gerar um dada quantidade de eletricidade é necessário uma capacidade instalada superior. Deste modo, em períodos com condições climáticas favoráveis à geração de eletricidade a partir do vento, existe produção que não é absorvida pela procura, sendo a exportação uma das opções de lhe dar uso e rentabilidade.

- ***Capacidade instalada solar (SOLRCAP) e eletricidade gerada pelo sol (ELECSOLR)***

A energia solar, tanto na forma de capacidade instalada como eletricidade gerada, pode apresentar 2 efeitos. Por um lado, a crescente aposta que nos últimos anos foi feita nas renováveis (nomeadamente na solar), pode originar um impacto positivo nas exportações de eletricidade. Por outro lado, a capacidade instalada solar ainda é menor que a do vento, pois a energia solar consegue ser mais previsível. É durante o dia que existe maior consumo de eletricidade, podendo a energia que é produzida pelo sol ser mais facilmente absorvida, não sendo necessário recorrer à exportação de eletricidade.

- ***Capacidade instalada de resíduos municipais (MUNCAP) e eletricidade gerada por fontes geotérmicas (ELEGEO)***

Da capacidade instalada de resíduos municipais e eletricidade gerada por fontes geotérmicas espera-se um sinal positivo. Estas energias, segundo Shrimalli e Kniefel (2011), representam uma pequena parte da capacidade das renováveis. Estas renováveis, juntamente com a eólica, podem originar excesso de capacidade instalada, ao produzir eletricidade que, ao não ser totalmente consumida, poderá ser exportada.

- ***Capacidade instalada hídrica (HYDRCAP)***

O sinal teoricamente esperado do coeficiente desta variável é negativo. Esta energia, aquando comparada com as renováveis solar e eólica, apresenta uma maior capacidade de controlo na geração de eletricidade, uma vez que, de acordo com a literatura, a energia hídrica baseia-se num processo simples em que é utilizada a energia cinética quando ocorre queda de água (Varun et al., 2009). Deste modo, é expectável que não exista excesso de capacidade, não conduzindo a exportações de eletricidade. A energia hídrica é, também, considerada uma das energias com maior competência no desenvolvimento sustentável (Varun et al., 2009).

- ***Intensidade de CO2 na energia consumida (CO2INT)***

Das emissões de CO2 pode esperar-se um sinal negativo ou positivo. Do cumprimento das metas definidas pela UE para a diminuição dos gases de efeito de estufa, poderá estar inserida a redução na produção de energia, originando assim uma relação negativa entre CO2 e produção de eletricidade e, conseqüentemente, com as exportações. No entanto, com o crescimento das energias intermitentes no portefólio energético, em períodos com maior procura e menor produção destas energias, pode haver uma sobrecarga em outras fontes mais poluentes para suprir as necessidades da procura de eletricidade, daí poder esperar-se um valor positivo.

- ***Capacidade instalada da energia nuclear (NUCLCAP) e eletricidade gerada a partir da energia nuclear (ELECNUCL)***

Pode esperar-se um efeito negativo ou um efeito positivo da energia nuclear nas exportações de eletricidade. Por um lado, a previsibilidade desta energia na produção de eletricidade, de modo a não haver excesso de produção, pode influenciar negativamente as exportações de eletricidade. Por outro lado, os elevados custos presentes na manutenção e instalação, podem levar ao aumento da produção para serem diluídos custos, contribuindo deste modo positivamente para as exportações nos períodos de menor procura.

- ***Eletricidade gerada a partir dos combustíveis fósseis (ELECGAS, ELECOIL e ELECCOAL)***

Em relação aos combustíveis fósseis, consegue-se ajustar e prever com maior facilidade a sua produção, quando comparados com as fontes intermitentes. Daí ser esperado que eles não contribuam para as exportações, apresentando um sinal negativo. No entanto, tal como a energia nuclear, para a diluição de custos pode haver um aumento das produções, contribuindo, deste modo, positivamente para eletricidade exportada. Assim, desta variável pode-se esperar quer um sinal negativo quer um sinal positivo. Com a importância significativa que as centrais de produção de eletricidade a combustíveis fósseis ainda representam, é de esperar que ao contrário de outras fontes, como as intermitentes, que a

capacidade instalada seja totalmente concretizada através da eletricidade gerada nas exportações de eletricidade.

- ***Densidade populacional (POPDENS)***

Usamos a densidade populacional como proxy do tamanho da rede elétrica, sendo que esta é uma variável importante para explicar as exportações de eletricidade. Segundo Marrero e Ramos-Real (2010), as redes isoladas oferecem um conjunto de características que implicam maior dependência da energia. Já as redes interligadas têm maior flexibilidade na sua capacidade de reserva, de modo a garantirem o abastecimento. Como proxy do tamanho da rede, usamos a variável densidade populacional (número de pessoas por km²). O aumento da densidade populacional exige, por consequência, uma rede com maior capacidade de produção, podendo, deste modo, conduzir à exportação em períodos de menor procura, como forma de escoar o excesso de produção. Espera-se que esta variável esteja associada às exportações de eletricidade e que as influencie positivamente.

- ***Crescimento do PIB (GDPGRW)***

Na literatura mostra-se que o consumo de eletricidade desempenha um papel importante no processo de crescimento de um país (como por exemplo, Apergis e Payne, 2011). Esta variável pode apresentar 2 resultados opostos. Por um lado, se existe um aumento no consumo de eletricidade, a produção pode não ser em excesso, não contribuindo deste modo para a eletricidade ser exportada, esperando-se um sinal negativo. Por outro lado, com uma diminuição no consumo, e mantendo-se constante a produção de eletricidade pelas centrais produtoras, poderá existir um excesso de produção, que poderá contribuir positivamente para as exportações, como forma de uma gestão mais racional.

- ***Energia Produzida (ENGYPRO)***

A energia produzida pode apresentar dois efeitos. Se por um lado houver um déficit entre as necessidades internas dos países e a produção de energia, seria de esperar um efeito negativo nas exportações de eletricidade. Enquanto uma produção superior á procura interna, pode contribuir para que o país seja exportador de eletricidade. Os recursos naturais internos, medidos pela produção de energia e aposta em diferentes tipos de capacidades de produção de eletricidade podem ditar uma maior ou menor aptidão, para um país ser exportador de eletricidade.

3.2. Método

Utilizamos um painel constituído por um conjunto de observações, na qual cada país é observado ao longo de t períodos de tempo, permitindo realizar uma análise quantitativa das relações económicas, utilizando dados temporais (time-series) e seccionais (cross-section), o chamado processo agrupado (pooling). Logo, com dados em painel, pode-se explorar, em simultâneo, variações das variáveis ao longo do tempo e entre diferentes indivíduos (Hsiao, 2003).

Os dados em painel contêm mais informação, maior variabilidade de dados, menor colinearidade entre as variáveis, maior número de graus de liberdade, e mais eficiência nas estimativas (Greene, 2003). Os efeitos específicos de cada país podem ser assumidos como sendo aleatórios ou fixos. Se os efeitos específicos de cada país são assumidos como aleatórios, então eles não estão correlacionados com as restantes variáveis explicativas. No modelo de efeitos fixos, os efeitos específicos de cada país são assumidos como sendo correlacionados com as variáveis explicativas. O modelo geral de dados em painel tem a seguinte forma:

$$EXPTELEC_{it} = \beta_0 + \beta_1 x_{1it} + \dots + \beta_{kit} x_{kit} + e_{it} \quad (1)$$

Onde i representa os diferentes indivíduos e t o período de tempo que está a ser analisado. O parâmetro β_0 refere-se ao parâmetro de intercepto e β_k ao coeficiente angular correspondente à k -ésima variável explicativa do modelo. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as matrizes das correlações entre as variáveis.

Tabela 2 - Matriz das correlações do modelo com capacidades instaladas

	EXPTELEC	WINDCAP	SOLRCAP	MUNCAP	HYDRCAP	NUCLCAP	COZINT	ENGYPRO	POPENS	GDPGRW
EXPTELEC	1									
WINDCAP	0.5275	1								
SOLRCAP	0.3376	0.7867	1							
MUNCAP	0.7327	0.6773	0.5409	1						
HYDRCAP	0.1575	0.1707	0.1032	0.2675	1					
NUCLCAP	0.0727	0.1509	0.0993	0.3190	0.6102	1				
COZINT	-0.0881	-0.1812	-0.1633	-0.2171	-0.1134	-0.0929	1			
ENGYPRO	0.3393	0.2035	0.1330	0.3527	0.1539	0.5319	0.0154	1		
POPENS	0.5164	0.0968	0.0751	0.3810	-0.2565	-0.0250	0.0349	0.3137	1	
GDPGRW	-0.2303	-0.2537	-0.2343	-0.3334	-0.1824	-0.1197	0.2435	-0.0260	-0.1462	1
VIF		3.58	2.65	2.84	1.98	2.37	1.11	1.76	1.66	1.21
Média						2.13				

Os valores relativos às variáveis WINDCAP e SOLRCAP, MUNCAP e EXPTELEC da tabela 2, podem indicar problemas de correlação, uma vez que apresentam valores relativamente elevados (0.7867 e 0.7327 respetivamente). De modo a avaliar este eventual problema realizamos e analisamos o teste VIF (Variance Inflation Factor). O teste VIF sugere que a colinearidade não condiciona a análise. A média do VIF apresenta um valor inferior a 5 (ver tabela 2), indicando que a colinearidade está longe de ser uma preocupação neste modelo.

Tabela 3 - Matriz das correlações do modelo com eletricidade gerada por fonte

	EXPTELEC	ELECWIND	ELECSOLR	ELECGEO	ELECGAS	ELECOIL	ELECCOAL	ELEGNUCL	COZINT	POPDENS	GDPGRW
EXPTELEC	1										
ELECWIND	0.4596	1									
ELECSOLR	0.2976	0.7953	1								
ELECGEO	0.2538	-0.0304	-0.0147	1							
ELECGAS	0.3526	0.2202	0.1464	0.3368	1						
ELECOIL	0.3526	0.0470	0.0305	0.8050	0.2783	1					
ELECCOAL	0.6248	0.4766	0.3233	-0.0595	0.3901	-0.0022	1				
ELEGNUCL	0.0987	0.1485	0.0975	-0.1385	0.0523	-0.0610	0.2267	1			
COZINT	-0.0881	-0.1879	-0.1607	-0.0000	0.0356	0.0673	-0.0135	-0.0999	1		
POPDENS	0.5164	0.0643	0.0547	0.0916	0.3265	0.0503	0.2273	-0.0181	0.0349	1	
GDPGRW	-0.2303	-0.2485	-0.2336	-0.1588	-0.1521	-0.0776	-0.0302	-0.1183	0.2435	-0.1462	1
VIF		3.36	2.77	3.31	1.50	3.00	1.63	1.11	1.12	1.17	1.22
Média						2.02					

Os valores relativos às variáveis ELECWIND e ELECSOLAR, e ELECOIL e ELECGEO da tabela 3, também poderiam indicar problemas de correlação, uma vez que apresentam valores relativamente elevados (0.7953 e 0.8050 respetivamente). De modo a avaliar este eventual problema realizamos e analisamos o teste VIF (Variance Inflation Factor). A média do VIF apresenta um valor inferior a 5 (ver tabela 3), indicando que a colinearidade está longe de ser uma preocupação também neste modelo.

A realização do teste VIF permitiu verificar que não existem problemas de colineariedade. No entanto para garantir que a correlação entre as variáveis WINDCAP e SOLRCAP, MUNCAP e EXPTELEC, ELECWIND e ELECSOLAR e ainda ELECOIL E ELECGEO não provocava problemas nos resultados obtidos, testamos o modelo com variáveis não simultaneamente, não ocorrendo variações nos sinais das variáveis testadas, como podemos observar nas tabelas A.1 e A.2 do apêndice.

4. Resultados

Os resultados obtidos para cada um dos dois modelos apresentam-se separadamente nas secções 4.1 e 4.2. Na secção 4.1 explicamos as exportações de eletricidade através das capacidades instaladas. Na secção 4.2 explicamos as exportações de eletricidade através da eletricidade gerada por fontes.

Ambos os modelos são estimados com recurso aos estimadores usuais de dados em painel (Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios), utiliza-se como comparação o estimador OLS. Para as diferentes estimações são apresentados os seguintes testes: Teste F, Teste Wald (χ^2), Teste LM (χ^2) e Teste de Hausman. Os resultados obtidos serão posteriormente analisados e discutidos, nas secções seguintes. Para a estimação dos resultados é utilizado o Software STATA (Data Analysis and Statistical Software).

4.1. Capacidades instaladas

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos com as capacidades instaladas. A qualidade das estimativas é feita com base na estimação de um conjunto de testes. Com o Teste F e LM, rejeitamos a hipótese nula (H_0), e concluímos que o estimador OLS não é um bom estimador. Realizou-se o teste de Hausman para se poder escolher entre o uso de efeitos aleatórios ou de efeitos fixos. No entanto, como os Efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios não são divergentes, podemos observar ambas as estimativas, pois demonstram ser muito próximas.

Tabela 4 - Apresentação dos resultados modelo capacidades instaladas

<i>Variável Dependente - Exportações de Eletricidade</i>					
<i>Variáveis Independentes</i>	<i>OLS (I)</i>	<i>Efeitos Fixos</i>		<i>Efeitos Aleatórios</i>	
		<i>(II)</i>	<i>(III)</i>	<i>(IV)</i>	<i>(V)</i>
<i>WINDCAP</i>	0.6548*** (0.1577)	0.4270*** (0.1221)	0.4270 (0.2605)	0.4779*** (0.1202)	0.4779 (0.2888)
<i>SOLRCAP</i>	-2.2665*** (0.6688)	-2.0531*** (0.4151)	-2.0531*** (0.3285)	-2.2415*** (0.4303)	-2.2415*** (0.5003)
<i>MUNCAP</i>	18.8873*** (2.1360)	5.7680*** (1.6046)	5.7680 (3.3384)	8.1567*** (1.7001)	8.1567** (3.7555)
<i>HYDRCAP</i>	0.3269*** (0.0596)	0.1932 (0.7556)	0.1932 (1.3993)	0.4393*** (0.1232)	0.4393*** (0.1477)
<i>NUCLCAP</i>	-0.2279*** (0.0337)	-0.1666 (0.3704)	-0.1666 (0.4993)	-0.2304*** (0.0688)	-0.2304*** (0.1126)

CO2INT	40.3749 (66.7540)	-194.7993*** (50.1183)	-194.7993*** (51.7142)	-147.3594*** (50.2196)	-147.3594** (0.0132)
ENGYPRO	0.0270*** (0.0070)	0.0554*** (0.0193)	0.0554*** (0.0149)	0.0431*** (0.0121)	0.0431*** (62.9826)
POPDENS	25.2712*** (3.6835)	54.9953 (57.6478)	54.9953 (87.4634)	34.704894*** (6.9361)	34.7048*** (6.8549)
GDPGRW	69.5351 (138.2544)	185.1822* (87.6765)	185.1822 (103.507)	165.9777 (91.7594)	165.9777 (100.3355)
CONS	--4076.6996 (6614.295)	16322.048 (12381.39)	16322.048 (18666.39)	13548.834*** (5195.409)	13548.834** (6427.356)
N	256	256	256	256	256
R²	0.6954	0.3315	0.3315		
F-test (N(0,1))	62.40***	12.73***	51.59***		
Wald (χ^2)				186.20***	671.23***
LM (χ^2)				490.88***	

Nota: (I) - Mínimos quadrados Ordinários; (II) - Efeitos Fixos; (III) - Efeitos Fixos com opção Robusta; (IV) - Efeitos Aleatórios; (V) - Efeitos Aleatórios com opção Robusta. O teste F N (0,1) tem distribuição normal e testa a significância conjunta dos parâmetros. O teste Wald tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula de não significância de todos os coeficientes das variáveis explicativas. O teste LM tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula da não relevância dos efeitos individuais. ***, **, denotam significância ao nível de 1% e 5%.

Para testar a existência de heteroscedasticidade em grupo (Baum, 2001), utilizou-se o teste de Wald modificado. Devido à rejeição de H0, concluímos a existência de heteroscedasticidade. Devido à presença de heteroscedasticidade, estimaram-se as opções robustas. A utilização deste estimador controla este problema e permite encontrar resultados mais eficazes e robustos. Baseamo-nos nos resultados da opção robusta de efeitos fixos e aleatórios, pois devido ao teste de Hausman ser inconclusivo, não é possível saber qual o melhor estimador. Apresentamos as seguintes análises das variáveis explicativas:

- A variável *WINDCAP* nos modelos robusto de efeitos aleatórios e fixos perde significância, apesar de apresentar um sinal positivo, tal como esperado;
- O parâmetro que mede o efeito da *SOLRCAP* é negativo e estatisticamente significativo;
- Os coeficientes da *MUNCAP* e *HYDRCAP* indicam que o aumento das capacidades instaladas das renováveis contribuem positivamente para as exportações de eletricidade, sendo esta relação estatisticamente significativa apenas no modelo de efeitos aleatórios;
- A *NUCLCAP* contribui negativamente e é significativa na explicação das exportações de eletricidade no modelo de efeitos aleatórios;

- As emissões de CO₂ na energia consumida têm um efeito negativo nas exportações de eletricidade. Este resultado é estatisticamente significativo;
- A variável *ENGYPRO* apresenta um contributo positivo na explicação das exportações de eletricidade, sendo estatisticamente significativa;
- O efeito da densidade populacional (uma *proxy* do tamanho da rede), é positiva mas somente significativa no modelo de efeitos aleatórios;
- O crescimento do PIB apresenta um coeficiente positivo, apesar de não ser estatisticamente significativo. No entanto, sendo o medidor de riqueza de um país, achamos importante a sua inclusão no modelo, dado que a sua inclusão ou não no modelo não provoca alterações de sinais nas restantes variáveis.

4.2. Geração de eletricidade por fontes

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para a geração de eletricidades por fontes. É realizado um conjunto de testes, para analisarmos os resultados de acordo com essas estimativas. Realizou-se o Teste F e LM, concluindo-se que o estimador OLS não é adequado, devido á hipótese nula (H₀) ser rejeitada.

Tabela 5 - Apresentação dos resultados modelo geração de eletricidade por fonte

<i>Variável Dependente - Exportações de Eletricidade</i>					
<i>Variáveis Independentes</i>	<i>OLS (VI)</i>	<i>Efeitos Fixos</i>		<i>Efeitos Aleatórios</i>	
		<i>(VII)</i>	<i>(VIII)</i>	<i>(IX)</i>	<i>(X)</i>
<i>ELECWIND</i>	5.1683*** (1.102924)	3.5546*** (0.8576341)	3.5546** (1.21182)	3.7227*** (0.7803677)	3.7227*** (1.074038)
<i>ELECSOLR</i>	-22.4931** (9.959965)	-23.3254*** (6.944087)	-23.3254 (11.5855)	-21.4007*** (5.945713)	-21.4007** (8.915504)
<i>ELECGEO</i>	1.9265*** (0.5542634)	7.6023*** (2.441216)	7.6023*** (2.031858)	2.1578*** (0.7649235)	2.1578*** (0.3613201)
<i>ELECGAS</i>	-0.4163*** (0.1526204)	-0.9474*** (0.2364119)	-0.9474*** (0.1802282)	-0.6022*** (0.1851245)	-0.6022*** (0.1163259)
<i>ELECOIL</i>	0.0289 (0.0305478)	0.1585*** (0.0552919)	0.1585*** (0.0362526)	0.0613** (0.239973)	0.0613*** (0.0086403)
<i>ELECCOAL</i>	0.0622*** (0.0059914)	0.0075 (0.0382257)	0.0075 (0.0503539)	0.0632*** (0.0139949)	0.0632*** (0.023084)
<i>ELECNACL</i>	-0.0008 (.0035881)	0.0046 (0.0232778)	0.0046 (0.0340233)	0.0030 (0.0098621)	0.0030 (0.014632)
<i>CO2INT</i>	-70.9006 (70.13936)	-239.0477*** (50.67227)	-239.0477*** (45.64744)	-278.8127*** (46.24559)	-278.8127*** (52.18917)
<i>POPDENS</i>	32.3373*** (3.242548)	199.8860*** (61.85288)	199.8860 (94.82569)	38.1322*** (9.497659)	38.1322*** (5.321156)

GDPGRW	-284.2191 (145.4556)	187.7951** (87.75862)	187.7951 (98.09324)	116.9766 (86.22054)	116.9766 (104.7672)
CONS	8717.4971 (6933.56)	-528.8614 (12045.16)	-528.8614 (16905.12)	27477.364*** (86.22054)	27477.364*** (5968.464)
N	256	256	256	256	256
R²	0.6670	0.3516	0.3516		
F-test (N(0,1))	49.09***	12.47***	112.72***		
Wald (x2)				150.80***	3691.56***
Hausman		10.07			
LM(x2)				805.17***	

Nota: (VI) - Mínimos quadrados Ordinários; (VII) - Efeitos Fixos; (VIII) - Efeitos Fixos com opção Robusta; (IX) - Efeitos Aleatórios; (V) - Efeitos Aleatórios com opção Robusta. O teste F N (0,1) tem distribuição normal e testa a significância conjunta dos parâmetros. O teste *Wald* tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula de não significância de todos os coeficientes das variáveis explicativas. O teste de *hausman* tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula dos efeitos dos indivíduos não observados não estarem observados com as variáveis explicativas. O teste *LM* tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula da não relevância dos efeitos individuais. ***, **, denotam significância ao nível de 1% e 5%.

O teste de *Hausman* sugere que a análise seja feita através dos resultados obtidos pelo estimador dos efeitos aleatórios, pois não rejeita a hipótese nula. Verificou-se uma vez mais a presença de heteroscedasticidade, realizado pelo teste de *Wald* modificado, pelo que se estimaram as opções robustas. Assim, a análise deste modelo será baseada na opção robusta (para corrigir o problema de heteroscedasticidade) de efeitos aleatórios:

- A ELECWIND apresenta-se como uma variável significativa com sinal positivo;
- A ELECSOLR apresenta-se também como uma variável significativa mas com sinal negativo;
- A variável ELECGEO é significativa e influencia positivamente as exportações de eletricidade;
- Os combustíveis fósseis apresentam-se estatisticamente significantes. A ELECOIL e a ELECCOAL contribuem positivamente para as exportações, enquanto a ELECGAS as influencia negativamente;
- A variável ELECNUC não se mostrou significativa, pelo que não parece relevante na explicação das exportações;
- As emissões de CO2 na energia consumida têm um efeito negativo nas exportações de eletricidade. Este resultado é estatisticamente significativo;
- O efeito da densidade populacional (uma *proxy* do tamanho da rede), é, tal como no modelo das capacidades instaladas, positiva e estatisticamente significativa;
- O crescimento do PIB volta a não ser estatisticamente significativo.

5. Discussão dos resultados

Os resultados deste estudo demonstram robustez e, em geral, estão de acordo com a literatura. As exportações de eletricidade apresentam, um crescimento médio de 46,15 % para o painel e período estudado. O grande aumento da capacidade instalada das renováveis nos últimos anos é salientado por Varun et al. (2009). Importa pois perceber qual o impacto desse crescimento nas exportações de eletricidade. Controlamos esse efeito para a energia eólica testando quer a capacidade instalada quer a eletricidade gerada por esta fonte. As características da capacidade instalada eólica, nomeadamente a intermitência, pode levar a que não seja totalmente concretizada na eletricidade gerada, podendo não estar a ser completamente utilizada. O que vai de acordo com Bocard (2009), que afirma que o fator médio de realização da capacidade eólica nos últimos anos é inferior a 21%. Deste modo não conseguimos perceber qual o efeito no mix energético. Por sua vez, a eletricidade gerada por fontes, apresenta um efeito positivo significativo nas exportações de eletricidade. Este resultado pode estar associado ao crescimento da capacidade instalada assim como às suas características específicas (por exemplo a Intermitência e Imprevisibilidade). Este efeito está de acordo com a literatura, ao se verificar que existe uma relação entre as exportações de eletricidade e a energia eólica (Mignard et al. 2007).

A energia solar demonstra ter, um contributo negativo nas exportações de eletricidade. Esta fonte de energia renovável é considerada por Glasnovic e Margeta (2011), em conjunto com a energia eólica, uma fonte instável para o sistema de energia elétrico, devido à intermitência. Contudo, a energia solar não apresenta tanta instabilidade no fornecimento de eletricidade como a energia eólica, pois, torna-se mais fácil prever os períodos de sol. Para além disso os períodos de sol correspondem a períodos em que há uma procura de eletricidade maior, por exemplo durante o dia, enquanto períodos de vento também podem existir, durante a noite, altura em que a procura de eletricidade tende a ser menor. O efeito contrário da energia solar em relação à eólica, poderá provir ainda de uma menor capacidade instalada solar face à eólica. Deste modo a gestão da capacidade solar pode ser mais facilmente gerida, não contribuindo para o aumento das exportações. A eletricidade gerada pela energia solar apresenta o mesmo efeito negativo significativo, o qual demonstra a robustez do modelo e suporta o resultado da variável capacidade instalada solar. Este efeito pode estar associado à mesma razão enumerada anteriormente para a capacidade instalada, ou seja, as menores quantidades podem estar associadas a uma melhor gestão, apesar da intermitência que também é sua característica. Em relação à *ELECGEO*, esta variável apresenta o resultado positivo esperado. A diversificação de fontes e o aumento da capacidade instalada, muitas delas intermitentes, conduz a um aumento da geração de eletricidade, que quando supera a procura pode levar à exportação.

Os resultados das estimativas *MUNCAP* e *HYDRCAP* apenas são significantes no modelo de efeitos aleatórios, dado que o teste de hausman apresentou-se inconclusivo. O resultado

obtido para a capacidade instalada dos resíduos municipais, onde indicia que esta contribui para um aumento das exportações de eletricidade, pode passar pelo aumento de 363% da sua capacidade instalada, de 1994 a 2009 para os países do painel, podendo contribuir deste modo para as exportações de eletricidade. De facto, é apontado no relatório da *U.S. Energy Information Administration* (2007) que “o conteúdo de energia dos resíduos sólidos municipais tem crescido gradualmente ao longo do tempo”, o que pode fundamentar esta explicação. O mesmo efeito tem a capacidade instalada hídrica. No entanto, o sinal positivo obtido foi diferente do esperado, uma vez que esta fonte de produção de eletricidade, poderia não só competir com os combustíveis fósseis, quer a níveis de custos, quer como central de produção de reserva, servindo de *backup* às energias renováveis intermitentes, tal como referem Shrimali and Kniefel (2011).

O reservatório de produção de eletricidade que a energia hídrica constitui, poderia fazer prever que fossem utilizadas em momentos de necessidade de produção de eletricidade na rede. Verificamos que esta fonte impulsiona as exportações de electricidade. De acordo com Amor et al. (2011), esta fonte pode ter um impacto significativo nas exportações de eletricidade, tendo em conta os baixos níveis de emissões de CO₂ e a necessidade dos países em reduzir estes efeitos nocivos para o meio ambiente. Os países importadores podem já estar interessados na aquisição de energia limpa. Este facto é sustentado na literatura (Frondel et al. (2010); e Prasad e Munch, 2012), na medida que os países importadores de eletricidade vêm desta forma reduzidas as emissões de CO₂ relativas á eletricidade, podendo deslocar essas emissões para outros setores da atividade. Exportar eletricidade com baixos níveis de CO₂ pode ser uma solução de escoamento de excesso de produção para os países que caracterizam o seu portfólio com quantidades crescentes de capacidades renováveis e intermitentes. Quando existem condições climatéricas favoráveis, e uma rede que permita a ligação a países que têm interesse na importação de eletricidade limpa.

Se por um lado a *ELECNUC* não é estatisticamente significativa, pelo que nada se pode concluir, por outro lado a *NUCLCAP* tem um efeito negativo significativo nas exportações de eletricidade apenas no modelo de efeitos aleatórios. Este efeito negativo que a capacidade instalada nuclear apresenta pode ser justificado pelo facto da energia nuclear estar na base da produção de eletricidade devido aos custos fixos elevados. Deste modo para aproveitar as economias de escala, a eletricidade nuclear é a primeira a ser absorvida pela rede, razão pela qual a sua produção tem um efeito negativo nas exportações de eletricidade.

A eletricidade gerada pelos combustíveis fósseis, para além de ser ainda a mais utilizada, pode ainda servir de *backup* às energias renováveis, quando estas não conseguem satisfazer a procura devido ao problema da intermitência. Como as centrais a carvão e petróleo são mais antigas, não existe tanta facilidade de ajustamento da produção, pelo que este facto poderá conduzir à exportação de energia em períodos de oscilação da procura e daí o sinal positivo encontrado. Ao contrário, as centrais a gás, mais recentes tecnologicamente e mais avançadas, podem conseguir ajustes mais rápidos na produção, não contribuindo deste modo para as exportações. Se à partida poderiam ser esperados dois efeitos da *ENGYPRO* nas

exportações de eletricidade, quando testada a variável verificou-se um efeito positivo. O que pode indicar que a energia produzida internamente num país, pode ser superior à procura, o que deste modo, pode contribuir para que o país seja exportador de eletricidade

O efeito negativo verificado pela *CO2INT* pode indicar que a aposta na eficiência energética e nas energias renováveis, pode estar a reduzir as emissões de CO₂ na energia consumida. No entanto, essa redução pode também estar relacionada com quebras na produção e no consumo de eletricidade. Para além disso tal como dito anteriormente, quando a eletricidade gerada é muita intensa em CO₂, os países importadores, limitados por quotas de emissão de CO₂, podem não estar interessados na aquisição dessa eletricidade. Justificando o sinal positivo da energia hídrica baixa em emissões de CO₂.

A *POPdens*, surge como uma *proxy* do tamanho da rede elétrica. A introdução desta variável permitiu analisar a importância do tamanho da rede elétrica nas exportações de eletricidade. Com base nos resultados dos modelos, a densidade populacional apresenta um resultado positivo e significativo. A população por km² numa dada área geográfica poderá originar maior consumo de eletricidade, nomeadamente nas horas de pico, levando à necessidade de instalação de mais centrais para satisfazer essa procura. No entanto, essa instalação pode originar excesso de produção noutros momentos, que quando não é totalmente consumida pode ser exportada. Para testar se o crescimento económico de um país influencia as exportações de eletricidade foi incluída na análise a variável *GDPGRW*. Contudo, nada se pode concluir sobre esta variável, uma vez que não é estatisticamente significativa.

Verificamos que o modelo de geração efetiva de eletricidade por fontes, apresenta resultados mais consistentes e robustos, quando comparado com as capacidades instaladas. De facto, ao estudarmos as exportações de eletricidade, através das diversas fontes, temos de ter conta que parte da capacidade instalada pode não estar a ser totalmente utilizada. Como por exemplo as renováveis que se caracterizam pela intermitência e em períodos com condições climatéricas adversas não produzem eletricidade. Os resultados vão de acordo com o esperado pois as capacidades utilizadas podem não estar a ser utilizadas no geral.

6. Conclusão

Este trabalho foca-se num painel de 14 países da UE para um período de 1994 a 2009, e analisa empiricamente os determinantes que influenciam as exportações de eletricidade. Usamos os estimadores usuais de dados em painel, efeitos fixos e efeitos aleatórios, assim como a aplicação OLS em pool. Devido à presença de heteroscedasticidade, estimamos os modelos robustos, e análise é feita com base nesses modelos. No geral os resultados são robustos.

Podemos dividir as centrais de produção de eletricidade em três categorias: i) centrais a combustíveis fósseis; ii) centrais nucleares; e iii) energias renováveis (Varun et al., 2009). Ambas apresentam contributos diferentes para as exportações de eletricidade. O aumento da capacidade instalada de resíduos municipais, e hídrica contribuem de forma positiva para as exportações de eletricidade, assim como a eletricidade gerada pelo vento, intensidade de CO₂ na energia consumida, energia geotérmica e energia produzida. Por outro lado a capacidade instalada e a eletricidade gerada solar têm um efeito negativo e estatisticamente significativo sobre as exportações de eletricidade. A eletricidade gerada pelo carvão e petróleo apresentam um efeito positivo nas exportações de eletricidade, ao contrário da eletricidade gerada pelo gás e capacidade instalada nuclear que tem um resultado negativo estatisticamente significativo. A densidade populacional, proxy do tamanho da rede, está associada positivamente às exportações de eletricidade.

A ligação de redes elétricas entre os países pode ser determinante para que países com grande capacidade intermitente, possam em períodos favoráveis exportar parte da sua produção. O facto é que a existência de redes interligadas, melhoram as trocas de eletricidade entre países. Ou seja, se por um lado o aumento da capacidade instalada intermitente pode originar necessidade de centrais de reserva, por outro lado a exportação de eletricidade limpa pode ser uma vantagem para os países exportadores. No entanto, para que haja um equilíbrio sustentável na política energética, os decisores de políticas devem promover a diversificação do portfólio energético. A geração de eletricidade por fontes, apresenta resultados mais consistentes e robustos. A introdução das capacidades instaladas podem não estar a ser completamente concretizadas na produção de eletricidade. Deste modo em investigações futuras deverão ser tomados cuidados na introdução das capacidades instaladas neste tipo de estudos, de modo a perceber a concretização destas na produção de eletricidade. A busca do equilíbrio entre fósseis e renováveis deverá continuar a ser objeto de atenção por parte dos decisores de políticas energéticas na otimização do mix energético.

7. Referências

- Amor, M., Pineau, P., Gaudreault, C., Samson, R., 2011. Electricity trade and GHG emissions: Assessment of Quebec's hydropower in the Northeastern American market (2006 - 2008). *Energy Policy* 39, 1711 - 1721.
- Apergis, N., Payne, J., 2011. A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus. *Energy Economics*, 33, 770-781.
- Baum C., 2001. Residual diagnostics for cross-section time series regression models. *The Stata Journal* 1, 101-104.
- Boccard, N., 2009. Capacity factor of wind power realized values vs. Estimates. *Energy Policy* 37, 2679 - 2688.
- Bove, R., Bucher, M., Ferretti, F., 2012. Integrating large shares of wind energy in macro-economical cost-effective way. *Energy* 43, 438-447.
- Consolidated versions of the Treaty on European Union and the Treaty on the Functioning of the European Union, 2010. *Official Journal of the European Union*, 53, 1 - 403.
- CE (Comissão Europeia), 2007. An energy policy for Europe. Última vez acedido a 1 de junho de 2012, disponível em: http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/01_energy_policy_for_europe_en.pdf.
- Dassisti, M., Carnimeo, L., 2012. Net modelling of energy mix among European Countries: A proposal for ruling new scenarios. *Energy* 49, 100-11.
- Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C., Vance, C., 2010. Economic impacts from the promotion of renewable energy technologies: The German experience. *Energy Policy* 38, 4048 - 4056.
- Glasnovic, Z., Margeta, J., 2011. Vision of total renewable electricity scenario. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 1873 - 1884.
- Greene, W., 2003. *Econometric Analysis*, 5th ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Hsiao, C., 2003. *Analysis of Panel Data*. Cambridge University Press
- Jacobson, H., Zvingilte, E., 2010. Reducing the market impact of large shares of intermittent energy in Denmark. *Energy Policy* 38, 3403 - 3413.

-
- Kost, C., Pfluger, B., Eichhammer, W., Ragwitz, M., 2011. Integration of renewable energies and nuclear power into North African Energy Systems: An analysis of energy import and export effects. *Energy Policy* 39, 7136 - 7145.
- Luickx, P., Delarue, E., D'haeseleer, W., 2010. Impact of large amounts of wind power on the operation of an electricity generation system: Belgian case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2019 - 2028.
- Mignard, D., Harrison, G., Pritchard, C., 2007. Contribution of wind power and CHP to exports from Western Denmark during 2000 - 2004. *Renewable Energy* 32, 2516 - 2528.
- Marrero, G., Ramos-Real, F., 2010. Electricity generation cost in isolated system: The complementarities of natural gas and renewables in the Canary Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2808 - 2818.
- Nikolakakis, T., Fthenakis, V., 2011. The optimum mix of electricity from wind- and solar-sources in conventional power systems: Evaluating the case for New York State. *Energy Policy* 39, 6972 - 6980.
- Purvins, A., Papaioannou, I., Oleinikova, I., Tzimas, E., 2012. Effects of variable renewable power on a country-scale electricity system: High penetration of hydro power plants and wind farms in electricity generation. *Energy* 43, 225-236.
- Prasad, M., Much, S., 2012. State-level renewable electricity policies and reductions in carbon emissions. *Energy Policy* 45, 237 - 242.
- Shrimalli, G., Kniefel, J., 2011. Are government policies effective in promoting deployment of renewable electricity resources?. *Energy Policy* 39, 4726 - 4741.
- Supersberger, N., Fuhrer, L., 2011. Integration of renewable energies and nuclear power into North African Energy Systems: An analysis of energy import and export effects. *Energy Policy* 39, 4458 - 4465.
- U.S. Energy Information Administration, 2007. Methodology for Allocating Municipal Solid Waste to Biogenic/Non-Biogenic Energy. Última vez acedido a 1 de junho de 2012, disponível em: http://www.eia.gov/cneaf/solar.renewables/page/mswaste/msw_report.html
- Varun, Prakash, R., Bhat, I., 2009. Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2716 - 2721.

-
- Weisser, D., 2004. On the economics of electricity consumption in small Island developing states: a role for renewable energy technologies?. *Energy Policy* 32, 127 - 40.
- Welle, A., Joode, J., 2011. Regulatory road maps for the integration of intermittent electricity generation: Methodology development and the case of The Netherlands. *Energy Policy* 39, 5829 - 5839.
- Zahedi, A., 2011. A review of drivers, benefits, and challenges in integrating renewable energy sources into electricity grid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 4775 - 4779.

Apêndice

Tabela A1 - Apresentação dos resultados do Modelo com capacidades instaladas

Variável Dependente - Exportações de Eletricidade												
Variáveis Independentes	OLS (I)				Efeitos Fixos (II)				Efeitos Aleatórios (III)			
	Modelo1	Modelo2	Modelo3	Modelo4	Modelo5	Modelo6	Modelo7	Modelo8	Modelo9	Modelo10	Modelo11	Modelo12
WINDCAP	0.6548*** (0.1577)		0.3026** (0.1210)	1.3104*** (0.1595)	0.4270 (0.2605)		0.0826 (0.2649)	0.5630 (0.2661)	0.4779 (0.2888)		0.0407 (0.1503)	0.6808** (0.3222)
SOLRCAP	-2.2665*** (0.6688)	-0.4335 (0.5190)		-2.0587*** (0.7658)	-2.0531*** (0.3285)	-1.2254** (0.4322)		-1.9264*** (0.3208)	-2.2415*** (0.5003)	-1.1405 (0.3517)		-2.1144*** (0.4967)
MUNCAP	18.8873*** (2.1360)	23.0540*** (1.9464)	18.6357*** (2.1795)		5.7680 (3.3384)	7.5069** (3.1398)	5.0943 (3.3978)		8.1567** (3.7555)	9.4062** (3.8351)	6.2287** (3.1645)	
HYDRCAP	0.3269*** (0.0596)	0.3287*** (0.0615)	0.3401*** (0.0607)	0.4381*** (0.0668)	0.1932 (1.3993)	0.8672 (1.3720)	-0.5981 (2.1734)	0.1603 (1.3854)	0.4393*** (0.1477)	0.4976*** (0.1565)	0.4220 (0.2189)	0.4965*** (0.1713)
NUCLCAP	-0.2279*** (0.0337)	-0.2414*** (0.0346)	-0.2299*** (0.0344)	-0.1981*** (0.0384)	-0.1666 (0.4993)	-0.4582 (0.3740)	0.0148 (0.5916)	-0.1847 (0.3461)	-0.2304** (0.1126)	-0.2482 (0.1286)	-0.2006 (0.1669)	-0.2222 (0.1223)
CO2INT	40.3749 (66.7540)	40.7357 (0.0072)	44.2704 (68.1430)	-36.8576 (75.8184)	-194.7993*** (51.7142)	-200.8522*** (57.7702)	-200.9818*** (48.2962)	-249.3246*** (55.2095)	-147.3594** (0.0132)	-185.2106*** (53.7164)	-201.6780*** (48.9879)	-227.6115*** (58.1347)
ENGYPRO	0.0270*** (0.0070)	0.0296*** (68.9124)	0.0279*** (0.0071)	0.0314*** (0.0080)	0.0554*** (0.0149)	0.0536*** (0.0147)	0.0504*** (74.3899)	0.0604*** (0.0131)	0.0431*** (62.9826)	0.0429*** (0.0087)	0.0426*** (0.0080)	0.0473*** (0.0158)
POPDENS	25.2712*** (3.6835)	22.4439*** (3.7371)	25.6321*** (3.7592)	40.1625*** (3.7531)	54.9953 (87.4634)	96.0127 (74.5090)	124.8938 (93.4703)	78.3922 (82.0563)	34.7048*** (6.8549)	36.8239*** (8.1447)	38.8370*** (8.2053)	41.6454*** (6.4440)
GDPGRW	69.5351 (138.2544)	62.9711 (142.7153)	95.6203 (140.9327)	-72.6995 (157.3136)	185.1822 (103.507)	205.8834** (91.5987)	237.2650** (93.4703)	192.4207 (98.5170)	165.9777 (100.3355)	165.5400 (93.17801)	212.9765** (94.5787)	163.4920 (94.8140)
CONS	-4076.6996 (6614.295)	3679.3262 (6827.445)	-4420.4554 (6752.128)	2851.071 (7524.231)	16322.048 (18666.39)	8044.9007 (18114.5)	11279.113 (18966.08)	19098.003 (19620.23)	13548.834** (6427.356)	17092.369*** (5413.504)	18890.714*** (4830.434)	20953.104*** (5971.084)
N	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
R ²	0.70	0.30	0.68	0.60	0.33	0.33	0.20	0.29				
F-test (N(0,1))	62.40***	63.85***	65.97***	46.04***	51.59***	8.00***	13.79***	89.37***				
Wald (χ^2)									671.23***	290.21***	106.89***	511.44***

Nota: (I) - Mínimos quadrados Ordinários; (II) Efeitos Fixos com opção robusto; (III) Efeitos Aleatórios com opção robusto; O teste F N (0,1) tem distribuição normal e testa a significância conjunta dos parâmetros. O teste Wald tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula de não significância de todos os coeficientes das variáveis explicativas. Foram realizados ainda os testes LM e Hausman sem a opção robusto. O teste LM é significativo para todos os modelos e o Hausman é inconclusivo em todos os modelos.

Tabela A2 - Apresentação dos resultados do Modelo com geração de eletricidade por fontes

Variável Dependente - Exportações de Eletricidade

Variáveis Independentes	OLS (IV)					Efeitos Fixos (V)					Efeitos Aleatórios (VI)				
	Modelo13	Modelo14	Modelo15	Modelo16	Modelo17	Modelo18	Modelo19	Modelo20	Modelo21	Modelo22	Modelo23	Modelo24	Modelo25	Modelo26	Modelo27
<i>ELECWIND</i>	5.1683*** (1.1029)	50.2888*** (1.0953)	4.7213*** (1.1198)		3.3012*** (0.7360)	3.5546** (1.2118)	3.9660*** (1.0138)	3.5388** (1.2303)		1.2258*** (0.2143)	3.7227*** (1.0740)	3.9233*** (0.9085)	3.6062*** (1.2026)		1.5335*** (0.3063)
<i>ELECSOLR</i>	-22.4931** (9.9599)	-22.7856** (9.9530)	-21.4590*** (10.1773)	12.4917 (6.8676)		-23.3254 (11.5855)	-24.5823** (11.0194)	-20.8276 (11.2759)	-0.0587 (2.8612)		-21.4007** (8.9155)	-22.1426*** (8.3226)	-21.1118** (8.9898)	0.3875 (1.3652)	
<i>ELECGEO</i>	1.9265*** (0.5542)	2.3424*** (0.3377)		1.6223*** (0.5734)	1.8892*** (0.5586)	7.6023*** (2.0318)	1.6694 (1.1712)		7.5423** (3.0383)	6.6552** (2.6035)	2.1578*** (0.3613)	1.7153*** (0.3432)		1.9282*** (0.4243)	2.2839*** (0.4774)
<i>ELECGAS</i>	-0.4163*** (0.1526)	-0.4191*** (0.1525)	-0.2892 (0.1514)	-0.3732** (0.1587)	-0.4055*** (0.1538)	-0.9474*** (0.1802)	-1.0666*** (0.2175)	-0.8545*** (0.2537)	-0.5997*** (0.2022)	-0.7063** (0.2100)	-0.6022*** (0.1163)	-0.7269*** (0.1166)	-0.4778** (0.2219)	-0.3464 (0.2070)	-0.5054*** (0.1319)
<i>ELECOIL</i>	0.0289 (0.0305)		0.1130*** (0.0190)	0.0454 (0.0316)	0.031 (0.0307)	0.1585*** (0.0362)		0.0125 (0.0240)	0.1968*** (0.0546)	0.1702*** (0.0390)	0.0613*** (0.0086)		0.0455*** (0.0077)	0.0719*** (0.0152)	0.0703*** (0.0105)
<i>ELECCOAL</i>	0.0622*** (0.0059)	0.0622*** (0.0059)	0.0605*** (0.0061)	0.0719*** (0.0058)	0.0633*** (0.0060)	0.0075 (0.0503)	0.0073 (0.0526)	0.0429 (0.0569)	0.0772 (0.0725)	0.0798 (0.0686)	0.0632*** (0.0230)	0.0586** (0.0240)	0.0652*** (0.0220)	0.0785*** (0.0274)	0.0774*** (0.0272)
<i>ELECNACL</i>	-0.0008 (0.0035)	-0.0005 (0.0035)	-0.0028 (0.0036)	-0.0008 (0.0037)	-0.0007 (0.0036)	0.0046 (0.0340)	0.0075 (0.0365)	0.0081 (0.0375)	0.0035 (0.0344)	0.0132 (0.0418)	0.0030 (0.0146)	0.0029 (.0153)	0.0001 (0.0135)	0.0017 (0.0133)	0.0051 (0.0164)
<i>CO2INT</i>	-70.9006 (70.1393)	-62.4925 (69.5596)	-96.5263 (71.3046)	-107.1700 (72.6199)	-71.4994 (70.7209)	-239.0477*** (45.6474)	-218.4044*** (46.067)	-237.8471*** (49.7737)	-294.7594*** (60.0693)	-265.5682*** (48.8468)	-278.8127*** (52.1891)	-262.2862*** (51.8838)	-283.5431*** (53.7399)	-35.9811*** (63.9887)	-03.5058*** (54.8028)
<i>POPDENS</i>	32.3373*** (3.2425)	32.2374*** (3.2401)	32.4678*** (3.3145)	31.1823*** (3.3680)	32.1445*** (3.2683)	199.8860 (94.8256)	190.4684 (91.0274)	182.143 (96.7945)	236.3668** (107.8627)	220.1677** (102.6758)	38.1322*** (5.3211)	40.5100*** (5.9389)	38.8124*** (5.7780)	35.7255*** (5.9514)	38.6000*** (6.3780)
<i>GDPGRW</i>	-284.2191 (145.4556)	-271.1858 (144.7714)	-363.1686** (146.8719)	-371.2577** (150.2847)	-269.1668 (146.5087)	187.7951 (98.0932)	208.0329 (100.7721)	194.2809 (100.13)	180.3097 (85.7771)	193.5668 (94.4418)	116.9766 (104.7672)	129.7424 (104.6881)	118.1838 (102.1018)	106.9000 97.5363	144.9909 (96.3171)
<i>CONS</i>	8717.4971 (6933.56)	7976.361 (6887.729)	11316.66 (7046.678)	12953 (7161.774)	8889.2179 (6990.683)	-528.8614 (16905.12)	2060.7647 (16078.9)	3400.718 (16901.14)	-4729.9379 (20024.71)	-5443.1096 (18451.14)	27477.364*** (5968.464)	26580.81*** (6051.009)	28499.48*** (6168.798)	33011.697** (6842.818)	28909.452** (6113.935)
<i>N</i>	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256	256
<i>R²</i>	0.67	0.66	0.65	0.64	0.66	0.35	0.39	0.32	0.30	0.32					
<i>F-test (N(0,1))</i>	49.09***	54.46***	50.90***	48.01***	53.09***	112.72***	71.65***	69.66***	43.65***	110.38***					
<i>Wald (χ^2)</i>											3691.56***	3913.81***	842.78***	283.67***	1324.56***

Nota: (IV) - Mínimos quadrados Ordinários; (V) - Efeitos Fixos com opção Robusto; (VI) - Efeitos Aleatórios com opção Robusto. O teste F N (0,1) tem distribuição normal e testa a significância conjunta dos parâmetros. O teste *Wald* tem distribuição χ^2 e testa a hipótese nula de não significância de todos os coeficientes das variáveis explicativas. Foram realizados ainda os testes LM e Hausman sem a opção robusto. O teste LM é significativo para todos os modelos e o Hausman indica a utilização dos efeitos aleatórios.