



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências Sociais e Humanas

**Ensaio sobre o Impacto do Consumo de Energias
de Origem Fóssil e Renovável, o Crescimento
Económico e a Tecnologia Sobre o Ambiente -
*Uma Abordagem com Modelação ARDL e com
Dados de Painel***

Hélde Araujo Domingos

Tese para obtenção do Grau de Doutor em
Economia
(3º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor José Ramos Pires Manso
Co-orientador: Prof. Doutor Alexandre Magno de Melo Faria

Covilhã, Janeiro de 2017

Dedicatória

Para Cristiana Hdom, João Eduardo e Ana Carolina! Sentido de toda a minha vida!

Agradecimentos

A Deus por todas as graças recebidas! É nele que busco inspiração em todos os momentos de minha vida, sejam eles de alegrias ou de necessidades!

Ao Professor Doutor José Ramos Pires Manso, pela orientação neste trabalho, pela infinita paciência e valiosa contribuição durante todo o processo de estudo. Foram muitos meses de trabalho árduo e sistemático que me levaram a uma reconstrução como profissional. Por isso, quero poder expressar toda a minha gratidão pelo apoio, conselhos e ideias que me ajudaram a tornar um profissional mais capacitado a enfrentar os dilemas da profissão e capaz de responder aos anseios da sociedade em meu país, o Brasil. Ao senhor Professor Pires Manso o meu muito obrigado!

Ao Professor Doutor Alexandre Magno de Melo Faria, pela valiosa colaboração como co-orientador e por mais uma vez acreditar e depositar confiança na minha capacidade!

À CAPES, pelo financiamento da pesquisa, por meio do Programa de Doutorado Pleno no Exterior, sem cujo apoio não seria possível concluir este trabalho!

À Universidade da Beira Interior, por poder dispor de toda a sua estrutura física, informática, humana e do apoio do seu corpo docente altamente qualificado - que não discrimino para não ferir susceptibilidades por algum eventual esquecimento - que passam a partir de agora a fazer parte de minha história e vida acadêmica!

Aos meus nobres amigos, o português mais gentil que já conheci Tiago Rosado, os da pátria amada, Paulo Caliar e Wagner Quintanilha que juntos estiveram durante todos esses longos anos e meses, sempre me dando incentivos para completar mais essa etapa da vida acadêmica, a todos vocês meus amigos, fica o meu muito obrigado!

Resumo

A deterioração das condições ambientais tem sido relatada desde 1960 com o problema sendo relacionado às alterações climáticas a partir dos anos de 1990. Desde então, até o momento atual, o consumo de energia fóssil, o crescimento económico e o grande volume de resíduos sólidos tem sido fatores constantemente associados às emissões de gases de efeito estufa (GEE) e às alterações climáticas. Uma discussão proeminente e de primordial importância no desafio que é a mitigação das emissões de produtos/resíduos poluentes baseia-se na questão de como substituir a principal matriz energética tradicional da economia assente no consumo de combustíveis fósseis por outra em que fontes de energias mais limpas ganhem a primazia. O desafio desta investigação é identificar de que forma as diferentes estruturas económicas que têm estado na base das diversas fases de desenvolvimento económico e social têm integrado as políticas ambientais de redução das emissões de GEE sem prejudicarem o crescimento/desenvolvimento mormente através da integração nas respectivas funções de produção de cotas mais elevadas de energia elétrica renovável, por vezes impostas por organismos e entidades internacionais através de tratados como o Protocolo de Kioto e outros que se lhe seguiram e a pressionante União Europeia. Para responder a estas questões levaram-se a cabo, depois de uma intensa revisão da literatura científica, três ensaios em que o instrumental analítico fundamental foi a abordagem de dados em painel. No caso do primeiro ensaio a amostra de dados em painel compreende diversas variáveis - energéticas, macroeconómicas, tecnologia (abordada por uma *proxy*) de tendência determinística de oito países em vias de desenvolvimento da América do Sul referente ao período temporal 1980-2010; a amostra de dados em painel do segundo ensaio engloba 14 países desenvolvidos da organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) sendo o período temporal de 1990-2011; o terceiro ensaio tem por base dados estatísticos anuais de 15 países da União Europeia (UE) que se iniciam em 1995 e terminam em 2012. Em consequência dos problemas de endogeneidade e a dependência seccional que se provou afectar os resultados e erros obtidos a partir da estimação dos modelos em causa nos dois primeiros ensaios, foi necessário recorrer à inclusão do mecanismo UECM ou de correcção do erro sem restrições (*Unrestricted Error Correction Mechanism*) após a estimação de um modelo autorregressivo com *lags*/desfazamentos/distribuídos - abordagem *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). No âmbito do terceiro ensaio, estimou-se um modelo adequado e testou-se a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) em que a variável dependente são as emissões de GEE especificamente do setor de resíduos e as variáveis explicativas o rendimento real per capita e os resíduos depositados em aterros sanitários, a tecnologia abordado por uma *Proxy* determinística e os consumos de energia de origem renovável (resíduos). Os resultados demonstraram que há dependência seccional no caso dos dois painéis (América do Sul e OCDE); que há evidência de cointegração somente para o painel sul americano; que em ambos os

Os painéis existentes mostram uma relação de causalidade entre a produção de energia elétrica, o crescimento económico e a poluição por emissão de CO₂ no meio ambiente; que numa avaliação a longo prazo a produção de energia elétrica fóssil e o crescimento económico têm impactos positivos sobre as emissões de CO₂; que as emissões de poluentes anteriores (defasadas um ano) têm efeitos negativos sobre as emissões correntes em ambos os painéis; que a energia elétrica de origem renovável reduz as emissões de CO₂ no curto e longo prazo na América do Sul, enquanto, nos países OCDE com tecnologias mais eficientes sob o ponto de vista ambiental a eletricidade renovável reduz as emissões de CO₂ no longo prazo. Já os mecanismos de correção dos erros com os painéis da América do Sul e da OCDE revelaram ritmos de ajustamento ligeiramente diferenciados para ambos os painéis, 27% e 30%, respectivamente, de um período para o seguinte. Com base nos resultados descritos, recomenda-se aos países sul-americanos que mantenham a tendência de longo prazo da produção de energia elétrica de origem renovável e que reduzam gradualmente a parcela de eletricidade de origem fóssil, para além da adoção de tecnologias de maior ‘performance’ em termos da sua eficiência técnico-ambiental. Já aos países OCDE recomenda-se uma aposta decisiva no crescimento económico sustentável, com recurso a melhores e mais eficientes tecnologias sob o ponto de vista energético, sendo que uma maior aposta em fontes de energia renovável é a melhor estratégia para superar os desafios e alcançar os objetivos das metas traçadas para mitigar as alterações climáticas. Os resultados do modelo estimado com o painel de países europeus indicaram evidência empírica a favor da redução das emissões de GEE quando se recorre aos resíduos sólidos (lixo) como matéria-prima que alimenta as centrais de tratamentos, a par da redução da quantidade destes resíduos em aterros sanitários; já a eletricidade gerada nessas centrais causam impactos positivos sobre as emissões de GEE. A confirmação da hipótese CKA não teve o formato de uma CKA tradicional para o setor “resíduos” nos países da UE. Contudo, sugerem-se novas abordagens para identificar padrões nacionais que possam ser confrontados com o desempenho em relação às metas individuais de mitigação dos GEE de cada país.

Palavras-chave

crescimento económico, emissões de CO₂, eletricidade renovável e fóssil, resíduos sólidos, curva de kuznets ambiental.

Abstract

Deteriorating environmental conditions have been reported since the 1960s with the problem being related to climate change from the 1990s. From then on, the fossil energy consumption, economic growth and the increasing volume of solid waste factors have been consistently associated to emissions of greenhouse gases (GHG) and climate change. A prominent, relevant or of paramount importance discussion in the mitigation of pollutant gases or solid waste challenge is replacing the main traditional energy mix of the economy based on fossil fuel consumption by another one in which cleaner energy sources gain primacy. This research's challenge shows how the different economic structures that have been at the base of the different economic and social development stages have absorbed or integrated the environmental policies and reduced GHG emissions without harming growth and development particularly through integrating, in the respective production functions, higher shares of renewable electricity sometimes imposed by international organizations or agreements such as the Kyoto Protocol and others that followed it and the pressuring European Union. To answer these questions, and after doing an intensive review of the scientific literature, some essays have been undertaken where the fundamental analytical tools are the panel data approaches. In the case of the first essay the panel data sample comprises several variables (energy, economic growth and technology) from eight South American developing countries whose data covers the period 1980-2010; the panel data sample of the second essay includes 14 OECD developed countries covering the time span 1990-2011; the third study or essay is also based on annual statistical data from 15 countries of the European Union (EU) and the time span covered is 1995-2012. As a result of endogeneity problems and sectional dependence demonstrated to affect the results and errors obtained from the estimation of the models concerned in the first two tests, it had to resort to the inclusion in the model the UECM mechanism or error correction without restrictions (Unrestricted Error Correction Mechanism) after the estimation of an autoregressive model with lags / lags / distributed - approach autoregressive Distributed Lag (ARDL). In the third research, we estimated a suitable model and was tested the hypothesis of the Environmental Kuznets Curve (EKC) where the dependent variable are the GHG emissions specifically from the waste sector and the explanatory variables are real income per capita waste deposited in landfills, technology and renewable energy sources and waste. The results showed that there cross-section dependence for the two first panels (South America and OECD); there is evidence of cointegration only to South American panel; in both panels there is a causal relationship energy-crescimento-environment; in the long run the production of fossil energy and economic growth has positive impacts on emissions of pollutants; emissions of pollutants previous (lagged one year) have negative effects on the emission currents in both panels; that the

electricity from renewable sources reduces pollutant emissions in the short and long term in South America as in OECD countries, with more efficient technology from an environmental point of view, this renewable electricity reduces emissions of long-term pollution. Since the correction of errors with the mechanisms of South America and OECD panels showed slightly different adjustment rates for both panels, 27% and 30%, respectively, from one period to the next. To the OECD countries we recommend a decisive gamble on sustainable economic growth, the green economy, using better and more efficient from an energy-environment point of view technologies and greater investments in renewable energy sources, the best strategy to overcome the mitigation targets and challenges set for reducing climate change, recommendations that can also be addressed to South American countries. The results got for the panel of European countries suggest empirical evidence in favor of reducing greenhouse gas emissions when they use electricity generated from solid waste (waste) consumption as raw material to feed the electric plants, together with the reduction of solid waste deposited in landfills. Once examined the issue to check the hypothesis of environmental Kuznets curve that relates the emission levels with real per capita income for the EU countries we found evidence that do not support the traditional CKA hypothesis for the waste sector and at the same time we discovered that the curve that better fits this relationship is the N shaped curve. However, we suggested new approaches to identify national standards that can be confronted with performance individual goals of mitigation of GHG each country.

Keywords:

Panel data model, ARDL model, GHG emissions, economic growth, fossil and renewable energy, causality, cointegration, solid waste, CKA-W

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	x
Lista de Figuras.....	xvi
Lista de quadros.....	xvi
Lista de Tabelas	xviii
Lista de Acrónimos	xx
Capítulo 1	1
Introdução Geral: a Problemática das Relações entre Consumo de Energia, Crescimento Económico e o Ambiente	1
1.1. Metodologias	10
Capítulo 2	16
2. Enquadramento temático da Tese	16
2.1. O nexa entre consumo de energia e crescimento económico	17
2.2. O nexa consumo de energia, crescimento económico e meio ambiente	21
2.3. Resíduos sólidos: produção, gestão e o tratamento.....	22
2.3.1. A geração e o tratamento de resíduos	24
2.3.2. A tecnologia e a gestão de aterros sanitários.....	25
Referências.....	28
Capítulo 3	34
Ensaio 1 - Emissões de dióxido de carbono, consumo de energias e crescimento económico: evidência com base num painel de países da América do Sul	34
3.1. Introdução.....	34
3.2. Revisão de literatura.....	40
3.3. Dados e metodologia	42
3.3.1. Teste de dependência seccional ou cruzada (CSD)	44
3.3.2. Raízes unitárias.....	45
3.3.3. Matriz de correlações e estatística VIF.....	47
3.4. Resultados	50

3.5. Conclusão	57
Referências.....	60
Capítulo 4.....	64
Ensaio 2 - Consumo de eletricidade de origem renovável e não renovável, crescimento económico e emissões poluentes: evidência de um macro painel de países com elevado rendimento da OCDE	64
4.1. Introdução.....	64
4.2. Revisão de literatura.....	69
4.3. Dados e metodologia	72
4.3.1. Teste de dependência seccional ou cruzada (CSD)	74
4.3.2. Raízes unitárias	75
4.3.3. Matriz das Correlações e Estatísticas do Teste VIF	77
4.4. Resultados.....	80
4.5. Conclusão.....	86
Referências.....	88
Capítulo 5.....	95
Ensaio 3 - Energia renovável e emissões de gases com efeito de estufa do setor de resíduos dos Estados da UE: uma análise com base em dados de painel	95
5.1. Introdução.....	95
5.2. Indicadores de geração de resíduos, emissão de GEE e medidas de tratamentos	97
5.3. Metodologia e Dados	104
5.3.1. Amostragem e período de análise	106
5.3.2. Tratamento preliminar dos dados.....	106
5.4. Resultados.....	108
5.5. Conclusão.....	112
Referências.....	114
Capítulo 6.....	118
Conclusão geral.....	118
Apêndice A - Capítulo 3.	124
Apêndice B - Capítulo 4.	129
Apêndice C - Capítulo 5.	135

Lista de Figuras

Figura 1. Emissões de GEE na América do Sul em 2011	36
Figura 2. Produção de energia elétrica de origem fóssil na América do Sul (1980-2010).....	37
Figura 3. Produção de energia elétrica de fonte renovável na América do Sul (1980-2010) ...	38
Figura 4. GEE do setores de resíduos dos sete maiores emissores do painel.....	97
Figura 5. GEE dos setores de resíduos, países com menores emissões do painel.....	98
Figura 6. Intensidade de geração de resíduos na UE-27	99
Figura 7. Intensidade de tratamento de resíduos na UE-27	100
Figura 8. Curva de Kuznetz Ambiental	101

Lista de quadros

Quadro 1. Síntese da literatura sobre onexo de causalidade consumo de energia - crescimento económico.....	18
Quadro 2. Síntese das principais pesquisas no âmbito da literatura sobre onexo consumo de energia, crescimento económico e poluição.....	70

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resumo estatístico dos dados das quatro variáveis	44
Tabela 2. Resultados do teste de dependência seccional, países América do Sul, 1980-2010.	44
Tabela 3. Testes de raízes unitárias de 1ª geração, países América do Sul, 1980-2010.....	46
Tabela 4. Testes de raízes unitárias - 2ª geração, países América do Sul, 1980-2010.....	47
Tabela 5. Testes VIF e das correlações para apreciar a Multicolinearidade, países da América do Sul, 1980-2010.	48
Tabela 6. Resultados da estimação do modelo ARDL e Teste de Westerlund (2007)	50
Tabela 7. Estimativas dos modelos MG, PMG e FE e resultados do teste de <i>Hausman</i>	52
Tabela 8. Teste de especificação	53
Tabela 9. Resultado da estimação	54
Tabela 10. Teste de diagnóstico	55
Tabela 11. Geração e consumo de eletricidade nos países da OCDE selecionados (2011).....	65
Tabela 12. Variáveis, definições, notações e estatísticas descritivas, países OCDE, 1990-2011.	72
Tabela 13. Resultados do Teste de dependência seccional, países da OCDE, 1990-2011.....	75
Tabela 14. Testes de raízes unitárias de 1ª geração, países OCDE, 1990-2011.....	76
Tabela 15. Testes de raízes unitárias - 2ª geração, países OCDE, 1990-2011.	77
Tabela 16. Testes VIF e das correlações para apreciar a multicolinearidade, países OCDE, 1990-2011.	77
Tabela 17. Resultados do teste de cointegração de Westerlund, países OCDE, 1990-2011. ...	80
Tabela 18. Modelos estimados e teste de <i>Hausman</i>	81
Tabela 19. Testes de especificação para os erros	82
Tabela 20. Resultado da estimação	83
Tabela 21. Elasticidades de curto e de longo prazos	84
Tabela 22. Matriz de correlação com variáveis centradas e estatística VIF.....	107
Tabela 23. Resultado do painel FE com erros padrão <i>Driscoll-Kraay/D-K</i>	109

Lista de Acrónimos

ADF	Dickey - Fuller aumentado <i>Augmented Dickey - Fuller</i>
ARDL	Modelo Auto Regressivo de defasagem distribuída <i>Auto Regressive Distributed Lag Model</i>
ASEAN	Associação das Nações do Sudeste Asiático <i>Association of Southeast Asian Nations</i>
AUS	Austrália
AUT	Áustria
BEL	Bélgica
B-P	Teste Breuche-Pagan <i>Breusche-Pagan LM test</i>
BRIC	Brasil, Rússia, Índia, China
BRICS	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul
CAN	Canadá
CIPS	Propriedades de Amostra Pequena de Corte Transversal <i>Small Sample Properties of Cross-Sectionally</i>
CO2	Dióxido de Carbono
CSD	Dependencia Seccional <i>Cross-Section Dependence</i>
DEU	Alemanha
DNK	Dinamarca
DOLS	Modelo Dinâmico Mínimo Quadrado Ordinário <i>Dynamic Ordinary Least Square model</i>
ECM	Mecanismo de Correção do Erro - <i>Error Corretion Mechanism</i>
ESP	Espanha
FE	Efeitos Fixos <i>Fixed Effects</i>
FE D-K	Efeitos Fixos com estimador Driscoll e Kraay <i>Fixed Effects - Driscoll and Kraay model</i>
FIN	Finlândia
FMOLS	Fully com Mínimo Quadrado Ordinário Modificado <i>Fully Modified Ordinary Least Square</i>
FRA	França
G-7	Grupo dos sete países mais industrializados e desenvolvidos
GRC	Grécia
HUN	Hungria
IEA	Agência Internacional de Energia <i>International Energy Agency</i>

IPS	Im, Pesaran and Shin W-stat
IRL	Irlanda
ITA	Itália
LBI	<i>Local Best Invariant</i>
LLC	Levin, Lin & Chu test
MENA	Oriente Médio e Norte da África - <i>Midle East and North Africa</i>
MG	<i>Mean Group</i>
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico
OilElectr	Eletricidade de Fontes Fósseis
OLS	Mínimo Quadrado Ordinário Ordinary Least Square
PCO2	Poluição por Emissão de Dióxido de Carbono
PIB	Produto Interno Bruto
PMG	<i>Pooled Mean Group</i>
PP	Phillips-Perron
P-VEC	Painel com Vetor de Correção do Erro <i>Panel Vector Error Correction model</i>
RE	Efeitos Aleatórios Random Effects
RElectr	Eletricidade de Fontes Renováveis
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TAR	Modelo de Regressão Limiar <i>Threshold Regression Model</i>
UE	União Europeia
UECM	Mecanismo de Correção do Erro inrestrito <i>Unrestricted Error Correction Mechanism</i>
EUA	Estados Unidos da América
VAR	Vetor Auto-Regressivo <i>Vector Auto-Regressive</i>
VECM	Modelo com Vetor de Correção do Erro <i>Vector Error Correction Model</i>
VIF	Fator de Inflação da Variância <i>Variance Inflation factors</i>
WDI	Indicadores de Desenvolvimento do Banco Mundial <i>World Development Indicators</i>
YPC	PIB per capita

Capítulo 1

Introdução Geral: a Problemática das Relações entre Consumo de Energia, Crescimento Económico e o Ambiente

A deterioração das condições ambientais do planeta tem sido relatada desde 1960 com o seu impacto e/ou efeitos relacionado com as alterações climáticas com maior ênfase a partir dos anos de 1990. Desde então, o consumo de energia fóssil e o crescimento económico têm sido fatores constantemente associados pela literatura especializada, às emissões de gases com efeito estufa (GEE, GHG com a notação internacional) e às alterações climáticas. Nesse sentido, a necessidade de crescimento económico dos países e de preservação ambiental tem se revelado um dos dilemas mais importantes da sociedade moderna tendo conduzido vários pesquisadores e decisores políticos a avaliarem os impactos do aumento das emissões de GEE e seus efeitos sobre as economias dos países, designadamente sobre os seus ritmos de crescimentos e dos níveis de bem-estar das suas populações.

A relação conflituosa entre economia e meio ambiente tem sido demonstrada pela literatura com os autores a não coincidirem nas suas conclusões por vezes até a apresentarem conclusões contrárias nos respectivos estudos e debates. De facto, essa dicotomia confirma que a primeira acarreta efeitos negativos ao segundo, sob o ponto de vista ambiental, e o segundo acarreta impactos negativos à primeira, sob o ponto de vista económico. São muitos os pesquisadores que afirmam que a regulamentação ambiental provoca redução dos níveis de crescimento económico e bem-estar (Grimaud e Tournemaine, 2007; Andre Grimaud, 1999; Ligthart e van der Ploeg, 1994). Outros pesquisadores, por vezes, defendem que a melhoria das condições ambientais, designadamente a sua qualidade, pode conseguir-se com níveis elevados de crescimento (Hart, 2004; Porter e Van der Linde, 1995; Lans Bovenberg e Smulders, 1995). Em contraste, existe ainda o argumento de que se essa última hipótese for verdadeira, os países não precisariam aplicar esforços para reduzir os impactos da economia sobre o meio ambiente, uma vez que, o desenvolvimento económico aumentaria o nível da qualidade ambiental (Bölük e Mert, 2014).

O contexto histórico demonstra que há algum paralelismo entre o passado ambiental e o meio ambiente actual. Durante os últimos dois séculos, especialmente durante os últimos 50 anos do século passado, a economia global cresceu de tal forma e tão extraordinariamente que transformou mesmo a forma de pensar dos pesquisadores que se dedicaram ao estudo dos recursos do planeta e sua exaustão (Mebratu, 1998). Numa certa fase deste processo, a depleção ou esgotamento dos recursos naturais da Terra revelou-se um sério problema para o

acelerado processo de desenvolvimento de várias nações industrializadas e/ou desenvolvidas, facto que foi amplamente discutido e motivou a realização do famoso relatório “Os Limites do/ao Crescimento” do inglês *The limits to Growth*, um relatório encomendado pelo Clube de Roma¹ ao MIT dos Estados Unidos da América (EUA) e que reuniu muitos cientistas de diversas especialidades, economistas, industriais, banqueiros, Chefes de Estado - de vários países (Meadows et al., 1972). Muito mais preocupado com a falta de matéria-prima para alimentar o sistema produtivo em funcionamento, este relatório tinha como objetivo analisar a situação mundial e apresentar previsões e soluções para o futuro relacionadas com os recursos naturais disponíveis.

No entanto, outro relatório tem estado subjacente à maioria dos debates atuais que envolvem o binómio economia - meio ambiente. Pouco mais de uma década depois do conhecimento do relatório do clube de Roma, surgiu a publicação do relatório de Brundtland, em 1987, pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (*The World Commission for Environment and Development-WCED*) com o título “O Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*)², que orientou o debate para o desenvolvimento sustentável - desenvolvimento do presente sem comprometer o futuro das gerações vindouras - com grande apelo global para que fossem desenvolvidos e criados mecanismos institucionais, nacionais e internacionais, locais e regionais que promovessem o desenvolvimento económico conjuntamente com a proteção do meio ambiente e do bem estar (Sneddon et al., 2006; Zaccai, 2012; Mebratu, 1998).

Assim, o termo “desenvolvimento sustentável” emergiu de forma institucional no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU) e serviu como ponto de viragem na forma de pensar a relação entre economia e o meio ambiente, forma que desde então levou ao florescimento de um conjunto de ideias estimuladas pelos estudiosos das ciências sociais que os levou a equacionar as falhas do crescimento e o desenvolvimento económico, principalmente, quando relacionado com a equidade, com o declínio da qualidade ambiental e com a incapacidade de contenção da explosão das atividades (humanas e económicas) insustentáveis (Sneddon et al., 2006).

Uma contribuição histórica importante na crítica ao modelo de desenvolvimento adotado pela economia dominante em relação aos efeitos negativos sobre o meio ambiente foi devido a Nicholas Georgescu-Roegen (1971) autor muitas vezes esquecido, que no seu trabalho e com base na segunda lei da termodinâmica, a lei da entropia, aponta para a inevitável degradação

¹O relatório foi resultado do trabalho de investigação realizado por uma equipe do MIT a pedido do clube de Roma (ONG, fundada em 1968), que reúne economistas, industriais, banqueiros, chefes de Estado, líderes políticos e cientistas de vários países (Meadows et al., 1972).

² Este relatório também conhecido como *Brundtland Report* foi publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e tem como pilar a necessidade de equilíbrio entre os objetivos económicos, sociais e ambientais (WCED, 1987).

dos recursos naturais no decorrer das atividades humanas. O autor criticou, ainda, os economistas por defenderem o crescimento económico material sem limites, e desenvolveu uma teoria oposta e extremamente ousada para a época, a do decréscimo económico. O autor argumentava ainda que a aceitação de um limite mais baixo do padrão de vida dos países desenvolvidos era importante no caso de se pretender que os países menos desenvolvidos escapassem à pobreza. Na base do seu raciocínio existiam evidências de que a natureza explorada tinha como resultado a depleção dos recursos naturais e como corolário produzia degradação ambiental pois os recursos materiais e energéticos em processo de transformação no sistema produtivo produziam emissões de resíduos que poluíam o meio ambiente. Sobre essas duas minuciosas observações este autor argumentava que a poluição por emissão de resíduos se tornaria no principal problema da sociedade antes mesmo de os recursos naturais se tornarem escassos.

Durante a Eco-92 também chamada de Cimeira da Terra ou Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, ou ainda Conferência Rio92 sobre Meio Ambiente, realizada entre 3 e 14 de junho de 1992, organizaram-se importantes debates com a finalidade de discutir a redução e o controlo da concentração de emissões de gases com efeito estufa. Posteriormente a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (UNFCCC), também conhecida como convenção de Quioto por se ter realizado nesta cidade do Japão, levou um grande número de países a assinarem o primeiro acordo com metas obrigatórias com vista à redução das emissões de GEE (Ozcan, 2013) e vigorando entre fevereiro de 2005 até 2012. Mais recentemente, durante o encontro de Paris realizado em dezembro de 2015, foi preparado um novo acordo climático global que envolve todos os países dependentes dos combustíveis fósseis, dos mais desenvolvidos aos mais pobres, sendo que se aceitam coordenar ações com vista a mitigar as alterações climáticas (UNFCCC, 2015).

O acordo tem uma preocupação pautada em quatro elementos fundamentais: Primeiro, fixou um objetivo comum que é conseguir baixar as temperaturas 2°C (graus Celsius) abaixo dos níveis actuais e de prosseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Em segundo lugar, impõe reduções cientificamente comprovadas e credíveis nos níveis de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa, estipulando que as emissões devem inverter o seu pico e, a partir daí reduzi-las rapidamente e alcançar um equilíbrio entre as emissões antrópicas e assegurar a redução dos gases com efeito estufa. Em terceiro lugar, como os compromissos atuais implicam uma redução das emissões dos atuais níveis que estão 3°C acima dos níveis pré-industriais, torna-se obrigatório fixar um mecanismo que faça reduzir os níveis atuais para níveis de emissões mais baixos.

O acordo estipula também que existirão avaliações a cada cinco anos para verificar os esforços das partes com vista à sua progressão ao longo dessa trajetória, o que significa que em cada etapa os países devem aumentar o ritmo dos seus cortes de emissões face ao existente em 2015. Finalmente, os países desenvolvidos precisam de mudar rapidamente de

energia de origens fósseis para fontes renováveis, um desafio que é enorme para os países em desenvolvimento que têm que ultrapassar a idade de combustíveis fósseis, o que exige fundos que o próprio acordo aceitou financiar (US\$ 100 bilhões) por ano até 2020 (UNFCCC, 2015).

Neste contexto, pode-se afirmar que existem pontos fortes no acordo: porque fixa um objetivo comum para evitar os impactos mais nocivos da mudança climática, porque os cortes fixados para os níveis das reduções globais de emissões são razoáveis, porque há um mecanismo para aumentar os cortes de emissões nacionais ao longo do tempo até alcançar o nível "aceitável", e porque há financiamento assegurado para ajudar os países mais pobres a aproveitar o poder do sol, do vento e das ondas em vez de carvão, petróleo e gás. O acordo conseguido é um roteiro para libertar o mundo da trajetória perigosa a que o acréscimo de combustíveis fósseis tem conduzido as emissões de CO₂.

Como referem Sneddon et al. (2006), o aumento do grau de compreensão científica sobre a mudança climática e outras transformações biofísicas e suas implicações para a humanidade ditou o grande colapso das bases filosóficas do paradigma dominante do mercado, facto que levou os diversos países a considerarem a necessidade de adequação ao novo conceito de desenvolvimento sustentável. O consumo global de recursos naturais e os níveis de emissões de gás com efeito de estufa têm sido fortemente impulsionados pelo desenvolvimento dos países industrializados e das economias dos países em vias de desenvolvimento. Os ritmos de utilização ou de consumo anual global de recursos naturais - sejam eles minerais, materiais para construção, biomassa e os combustíveis fósseis - aceleraram significativamente durante o século passado tendo atingido um valor global de cerca de 55 gigatoneladas (Gt) no ano 2000, e uma taxa média per capita de uso desses recursos de 9,2 toneladas/ano em 2005 (IPCC, 2014b; Krausmann et al., 2009).

Apesar da complexidade do tema em discussão nesse debate, parece haver actualmente, no âmbito da economia ambiental, um certo consenso entre investigadores, decisores públicos e membros dos governos de que a alteração climática mundial é real. São vários os fatores que conduzem ao aquecimento global e/ou que provocam as alterações climáticas, como o uso de energia indispensável ao funcionamento dos processos industriais e de toda a economia, uso da terra e das florestas, o acumular de resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) gerados por todos os fatores anteriormente referidos bem como o pós consumo dos bens económicos (IPCC, 2007).

Outro fator importante foi o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) global durante o século XX que forçou a utilização de materiais e energia primária. Neste caso, vários componentes foram determinantes para o processo. O crescimento populacional, que quadruplicou, e o crescimento do PIB global mundial que a partir da década de 1960 aumentou cerca de seis vezes. A renda média per capita global anual aumentou de 1.260 US\$ para 7.000 US\$ e a despesa com consumo quase triplicou de valor (IPCC, 2014b; Assadourian,

2010; Krausmann et al., 2009). A relação entre crescimento físico e económico a nível global e o desenvolvimento da intensidade de recursos na economia demonstraram que o rendimento médio crescente da população e o uso de recursos naturais não renováveis e outros pela economia estão intimamente ligados ao crescimento económico³ (IPCC, 2014b; Krausmann et al., 2009).

Entre os diversos fatores económicos e ambientais há um que tem merecido especial atenção ao longo das últimas duas décadas, que é a emissão de dióxido de carbono (CO₂) proveniente da queima de combustível fóssil para gerar energia necessária às múltiplas atividades humanas e económicas e que tem favorecido a concentração de GEE na atmosfera. Especificamente, a ação antrópica (ou antropogénica) da alta concentração de GEE tem aumentado desde a era pré-industrial (IPCC, 2014a). Mas os maiores aumentos absolutos ocorridos verificaram-se no período 1970-2010, um período em que era já notório o elevado número de políticas públicas direcionadas para mitigar as mudanças climáticas nos âmbitos global, regional e local. Essas emissões têm estimulado as concentrações de CO₂, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera da terra levando a uma absorção crescente de energia pelo sistema climático (IPCC, 2014b).

Globalmente a utilização de energia primária aumentou 31% entre 1971 e 2010, sendo que os países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) viram o seus consumos per capita de energia aumentarem cerca de 14%, e os países em desenvolvimento como os da América Latina e da Ásia apresentaram taxa de crescimento dos consumos per capita de energia bem mais elevados, cerca de 60% e 200%, respectivamente (IPCC, 2014b). Em relação à produção de resíduos sólidos, os modelos de desenvolvimento adotados pelas nações mais ricas do mundo como as que integram a OCDE, os da Europa e os da América do Norte bem como os países em desenvolvimento da América Latina, são responsáveis pela geração de metade dos resíduos sólidos do mundo (Hoornweg e Bhada-Tata, 2012).

De acordo com relatório do Banco Mundial divulgado em 2012 o peso per capita destes resíduos gerados ronda os 2,2 kg/hab/dia, existindo a previsão de que a gestão de resíduos atinja um custo de aproximadamente 375,5 bilhões de dólares americanos até 2025 em termos de custo acumulado global. Além disso, os países menos desenvolvidos serão onerados com a maior parte dos seus recursos orçamentários destinados à gestão básica dos resíduos gerados, ou seja, à colheita de lixo e apenas uma pequena fração desse orçamento será aplicada efetivamente na eliminação. O cenário dos países menos desenvolvidos de baixa renda contrasta com o dos países desenvolvidos com alta renda onde a despesa principal é aplicada na eliminação e reaproveitamento de parte dos resíduos descartados, principalmente para gerar energia renovável (Hoornweg e Bhada-Tata, 2012).

³ Um aspecto curioso relatado por Krausmann et al. (2009) é o fato de a economia ter apresentado um crescimento mais lento do que a massa monetária no último século, e a diminuição contínua da intensidade material em 30% e energética em 50% pela economia global face aos valores-base de 1900.

Em termos globais as quatro décadas do período 1970-2010 demonstraram que as emissões de GEE aumentaram cerca de 80% e a utilização de combustíveis fósseis para gerar energia é de longe o principal contribuinte líquido entre os que contribuem para as emissões de GEE (IPCC, 2014b). Essas emissões são geralmente atribuídas às regiões que produzem os bens e serviços económicos, isto é, uma parte considerável das emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis são exportados de uma região para outra onde é libertada pela produção de bens e serviços onde são consumidos (IPCC, 2014b). Em 2014, do total das emissões de GEE global a queima de combustíveis fósseis foi responsável por cerca de 78% das emissões de GEE nesse período. Em termos globais, o crescimento económico e o consumo de energia continuam a ser os principais *players* no aumento das emissões de CO₂, emissões que, juntamente com outras ações antrópicas, potenciam ainda mais a alta concentração de poluentes na atmosfera (IPCC, 2014b).

O gás metano é o segundo mais importante dos GEE, as emissões de CH₄ são devidas a uma vasta gama de atividades antropogénicas, onde se incluem a produção e transporte de combustíveis fósseis, a produção agropecuária e a deposição de resíduos sólidos (orgânicos e inorgânicos) gerados pela economia e pela população. O IPCC (2014b) em 2005 previa um crescimento de cerca de 7% das emissões de CH₄ em relação aos 6,8 Gt (CO₂ equivalentes) estimados pela agência de proteção ambiental (EPA) dos EUA atribuindo a esta estimativa um grau de incerteza de 20%. O terceiro GEE mais importante é o óxido nitroso sendo devido às atividades agrícolas e industriais, bem como à combustão e eliminação de resíduos. As estimativas atuais são de que 40% do total das emissões de N₂O sejam antropogénicas (IPCC, 2014b).

Observações e constatações registadas em todo o mundo e descritas pela literatura, têm associado os fatores acima referidos aos riscos de mudanças climáticas. Entre as constatações tem-se: a notoriedade da influência humana sobre o sistema climático, cuja ação antrópica se atribui às maiores emissões de GEE da história; essa influência tem conduzido às mudanças climáticas recentes e revelado impactos generalizados sobre os sistemas humanos e naturais com custos económicos e ambientais elevados; o oceano tem vindo a aquecer; as quantidades de neve e gelo têm diminuído e o nível do mar tem se elevado; as três últimas décadas têm sido sucessivamente mais quentes do que qualquer outra década anterior desde 1850; o período recente entre 1983 e 2012 foi provavelmente o mais quente em 30 anos dos últimos 1400 anos no hemisfério Norte; os dados de temperatura (médias globais combinadas as superfícies terrestres e oceânicas, tal como determinado por uma tendência linear) demonstraram que a temperatura da Terra aumentou 2°C ao longo do período 1880-2012 (IPCC, 2014a).

Todas essas mudanças, associadas ao aquecimento global, são responsáveis por efeitos ou impactos que correspondem à ocorrência de fenómenos naturais extremos com maior frequência e cada vez mais intensos, i. é, períodos com maiores intensidades de calor e/ou

mais secas prolongadas, maior intensidade dos ventos e com isso maiores possibilidades da ocorrência de furacões, maior concentração da precipitação ocasionando períodos de chuvas intensas e com isso a ocorrência de inundações, mudanças das estações do ano, e o mais grave desses eventos que é a possibilidade de extinção de espécies animais e vegetais. Nesse contexto, a justificativa para a realização da presente investigação, é justificada pela crescente preocupação em todo o mundo com os efeitos associados ao crescimento económico, ao consumo de energia intimamente relacionado, do excesso de resíduos gerados e à elevada concentração de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa na atmosfera que provocam as alterações climáticas verificadas no planeta Terra, cujos efeitos, juntamente com os de outros *drivers* antrópicos, têm sido detectados em todo o sistema climático, e que são, com elevada probabilidade, as causas do aquecimento global detetado desde meados do século XX (IPCC, 2014b).

Uma discussão proeminente na luta pela melhoria da qualidade do meio ambiente com a finalidade de diminuir os riscos já mencionados baseia-se na transição da atual matriz energética assente em combustíveis fósseis para outras fontes de energias mais limpas (renováveis). Vários países têm dedicado uma atenção considerável às energias renováveis em função de diversos fatores como, por exemplo, a preocupação com a volatilidade dos preços do petróleo, com a segurança energética, e com as consequências ambientais das emissões de GEE (Bölük e Mert, 2014). No contexto geral, o mercado de energia renovável tem recebido incentivos através de diversos mecanismos para alavancagem da produção de energia elétrica com muitos países definindo metas específicas e o desenvolvimento de políticas públicas para as energias renováveis (Bölük e Mert, 2014). O apoio financeiro para novos investimentos em energia renovável aumentou 17% (referência de 2013 para 2014). O valor total foi de 270 bilhões de dólares em todo o mundo, todas as regiões tiveram aumentos de investimentos para produção de energias renováveis. Os investimentos totais nos países em desenvolvimento somaram 131,3 bilhões de dólares, enquanto, os investimentos globais das economias desenvolvidas somaram outros 138,9 bilhões de dólares no mesmo período (REN21, 2015).

No que diz respeito aos resíduos sólidos, as melhorias tecnológicas introduzidas levaram a maiores níveis de eficiência na utilização de materiais; por sua vez, a reciclagem de resíduos e a redução verificada na demanda ou procura de alguns produtos, para além da eficiência energética, ajudaram a reduzir os níveis de emissões de GEE e portanto do aquecimento global (IPCC, 2014a). No caso das indústrias, abordagens para a promoção da eficiência energética incluem ainda programas de informação (comunicação social), seguido de instrumentos económicos, regulamentação e ações voluntárias. Além disso, outras opções de mitigação na gestão dos resíduos sólidos têm sido incentivadas, sendo exemplo a redução dos resíduos, seguida da reutilização de produtos e principalmente da recuperação de energias (IPCC, 2014a).

De acordo com relatório do Banco Mundial geram-se anualmente cerca de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos em todo o mundo que são responsáveis pela emissão de 12% das emissões globais de gás metano (Hoornweg e Bhada-Tata, 2012). Ao todo só as emissões de GEE geradas pelo próprio setor dos resíduos sólidos representam cerca de 6,4% do total mundial de emissões de GEE (Zuberi e Ali, 2015). Essas emissões somadas com as emissões de GEE do consumo de energias representam quase 85% do total das emissões de GEE em todo o mundo e que por isso, merecem especial interesse de investigação. Os elementos acabados de referir são só por si suficientemente aliantes para justificar o interesse em levar a cabo esta investigação.

Todavia, tanto quanto se tem conhecimento são poucas as pesquisas/investigações científicas conhecidas que se dedicaram ao exame da relação das emissões de produtos poluentes provocadas por outras fontes energéticas, sejam elas de origem fóssil ou de origem renovável (Bölük e Mert, 2014). Neste sentido, decidiu-se enfrentar um problema no âmbito da economia ambiental de grande envergadura onde é colocado o problema das emissões de poluentes e do estudo das possibilidades de minimização quer por parte dos países em desenvolvimento quer por parte dos países desenvolvidos. Assim, um dos grandes desafios desta investigação é identificar e analisar como é que as diferentes estruturas económicas associadas às distintas fases ou etapas de desenvolvimento têm auxiliado no aconselhamento de medidas de políticas públicas de redução das emissões de poluentes, nomeadamente através da produção de energia eléctrica com origem no *mix* de recursos renováveis.

Acredita-se que explorar essas relações no contexto dos impactos das energias, do crescimento económico e dos resíduos sólidos produzidos pela sociedade consoante as emissões de poluentes nas diferentes estruturas económicas é fundamental para a concepção de políticas públicas adequadas e orientadas para a luta contra o aquecimento global, ao mesmo tempo disponibilizando uma fonte de observação dos problemas relacionados com o consumo de energia e delinear melhores estratégias com vista à consecução do desenvolvimento sustentável da economia, isto é, sem prejudicar os presentes e sem comprometer o desenvolvimento das gerações vindouras.

Nesta ordem de ideias, a questão central que esta tese de doutoramento se propõe investigar é: Qual o grau de redução das emissões de CO₂ é possível com a utilização de energia eléctrica de fontes renováveis a partir de diferentes estruturas económicas e estágio de desenvolvimento? Consequentemente, o objetivo de investigação central da Tese de Doutoramento é identificar e analisar a redução das emissões de GEE por meio do uso de fontes de energia eléctrica renovável na busca de elementos mais claros para auxiliar as políticas de mitigação de três conjuntos de países seleccionados - desenvolvidos “OCDE e União Europeia” e em via de desenvolvimento “América do Sul”, consoante as diferentes estruturas económicas e diferentes estágios de desenvolvimento.

Os objetivos específicos resultantes do aprofundamento do objetivo geral são: (i) Identificar a contribuição da energia elétrica de fonte fóssil e renovável nos países da América do Sul e países da OCDE para as emissões de GEE; (ii) Testar a metodologia com abordagem ARDL - “*Auto Regressive Distributed Lag*” para explicar este fenómeno; (iii) Identificar o impacto do uso da energia renovável - combustível e eletricidade - extraída dos resíduos sólidos urbanos nas emissões de GEE dos próprios resíduos e testar a CKA nos países da União Europeia.

Tendo estes objetivos em mente, realizaram-se três ensaios associados aos objetivos específicos deduzidos do objetivo geral e que servem como seus pilares de sustentação do argumento para realização deste pesquisa.

- a) examinar o tipo de inter-relações existentes entre as emissões de dióxido de carbono, e factores energéticos (produção de energia elétrica renovável e convencional) e uma variável macroeconómica (crescimento económico) no âmbito de um painel de países em via de desenvolvimento. Neste primeiro ensaio, analisa-se o efeito da produção de energia elétrica consoante a fonte de geração e sua influência sobre as emissões de dióxido de carbono com base num painel composto por oito países da América do Sul selecionados, aqueles para os quais foi possível dispôr de dados completos retirados das estatísticas da *International Energy Agency* - IEA; para o levar a cabo recolheram-se dados anuais referentes ao período 1980-2010, o máximo disponível no momento em que se procedeu à estimação do modelo e respectiva análise;
- b) examinar os mesmos efeitos e/ou impactos no âmbito dos países desenvolvidos. Neste segundo ensaio, é analisado o mesmo tipo de relação com base num painel desta vez composto por 14 países desenvolvidos ou com elevado rendimento/renda per capita que integram a OCDE. Os dados são referentes ao período 1990-2011; a comparação dos resultados obtidos no primeiro ensaio (países em desenvolvimento) com os obtidos no segundo (países desenvolvidos) permite-nos assim construir um quadro que nos vai permitir extrair algumas conclusões para os dois tipos de economias - em desenvolvimento e desenvolvidas;
- c) analisar o tipo de inter-relacionamento existente entre o uso dos resíduos sólidos para produzir combustíveis renováveis e energia elétrica, a deposição em aterros sanitários consoante as emissões de GEE de resíduos dos Estados Membros da União Europeia (UE). Neste terceiro ensaio, é analisada a influência da geração de energia renovável produzida a partir das centrais de tratamento de resíduos sólidos - um *output* da economia - enquadrado numa estratégia de mitigação de parte das emissões de GEE; aproveitam-se os mesmos dados e resultados do modelo estimado e testa-se a hipótese subjacente à Curva de Kuznets Ambiental no setor de resíduos (CKA-W), avaliando se ela se verifica ou vigora no painel de países europeus estudado.

Em termos de organização o restante desta tese é estruturada da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta o enquadramento geral do tema da tese; o Capítulo 3, apresenta o primeiro ensaio com o título: Emissões de dióxido de carbono, consumo de energias renováveis e não renováveis e crescimento económico: evidência de um painel de países da América do Sul; o Capítulo 4, apresenta o segundo ensaio com o título: O consumo de eletricidade a partir de fontes renováveis e não renováveis, o crescimento económico e as emissões poluentes: evidência de um macro painel de países de alta renda da OCDE; o Capítulo 5, apresenta o terceiro ensaio com o título: Energia renovável e emissões de gases de efeito estufa do setor de resíduos dos Estados Membros da União Europeia: uma análise com dados de painel; e finalmente, o Capítulo 6, apresenta a conclusão geral da tese.

1.1. Metodologias

Neste tópico faz-se uma breve descrição das diferentes metodologias econométricas seguidas ao longo dos ensaios científicos que posteriormente serão explanados em capítulos autónomos. Uma vez que o assunto é depois tratado em cada um dos ensaios com maior detalhe o que aqui se reporta é justamente uma síntese e não uma descrição completa das metodologias usadas já que ela será oportunamente aprofundada em cada um dos capítulos referidos. Como referido no capítulo introdutório desta pesquisa este trabalho de investigação engloba o desenvolvimento de três ensaios que modelam o ritmo de emissões de gás de efeito estufa (GEE) com base na produção de electricidade a partir de fontes fósseis e de fontes renováveis com o crescimento económico como variável de controlo. Esses modelos estimados são depois usados para medir os seus impactos e efeitos num painel de países cujas economias se encontram em via de desenvolvimento e noutra cujas economias se encontram num estágio mais desenvolvido, medido este estágio pelos seus níveis de renda per capita.

No primeiro estudo e em termos de metodologia foi formulado um modelo adequado para analisar a relação entre a energia elétrica separada por tipo de fonte de geração, se energia elétrica a partir de fontes energéticas fósseis ou se energia elétrica do *mix* de recursos renováveis; esta investigação recorre a uma amostra de dados em painel composta por oito economias de países sul-americanos, todos em via de desenvolvimento. Os dados estatísticos colhidos provêm de uma base de dados internacional e são referentes ao período 1980-2010 de forma que não tivessem descontinuidade nas séries utilizadas.

No segundo estudo, investigaram-se os mesmos fatores associados à geração de energia elétrica de fontes energéticas fósseis e do *mix* de recursos renováveis sobre as emissões de GEE na economia de 14 países da OCDE com elevados rendimentos ou alta renda per capita, desta vez com dados referentes ao período 1990-2011. Além disso, realizou-se, a comparação

dos resultados do painel de países sul-americanos (países em desenvolvimento) com os resultados obtidos pelo painel de países OCDE (países desenvolvidos), a fim de entender com o apoio de modelos econométricos, quais as diferenças ao nível dos fatores que melhor explicam as emissões de GEE gerados por estruturas económicas diversas associadas às diferentes fases de desenvolvimento em que os dois painéis de países se encontram.

Para atingir os objetivos referidos, e em termos metodológicos, o primeiro passo foi recorrer ao teste de dependência seccional ou transversal entre os países do painel (*cross-section dependence*) seguindo o procedimento desenvolvido por Pesaran (2004). Para assegurar ao máximo a qualidade dos resultados obtidos realizaram-se em seguida testes de raízes unitárias para dados de painel; estes testes examinam as propriedades ou características das séries quanto a sua estacionaridade ou integração.

Foram aplicados dois tipos de testes, os teste de raízes unitárias de primeira geração, designadamente os testes de Levin, Lin & Chu t (LLC) (Levin et al., 2002), de Im, Pesaran e Shin W -stat (IPS) (Im et al., 2003), de ADF-Fisher *Chi-square* (Maddala e Wu, 1999), de Phillips e Perron (1998) ou PP-Fisher *Chi square* e de Breitung (2000). Aplicou-se depois o teste de raiz unitária conhecido como de segunda geração, o teste *CIPS* baseado em Pesaran (2007), cuja finalidade é verificar as disparidades entre os resultados dos diferentes testes de integração de primeira geração ao nível de painel quando na presença de dependência seccional ou transvesal. Confirmada a integração das séries com os testes acabados de descrever passou-se à apreciação da sua cointegração, uma questão importante para apreciar as dinâmicas de equilíbrio de curto e longo prazos, recorrendo ao teste de cointegração de Westerlund (2007).

Terminada esta fase estimou-se o modelo ARDL com mecanismo de correcção do erro inrestrito (UECM), cuja finalidade é apreciar os aspectos dinâmicos do modelo através da decomposição dos efeitos de curto e de longo prazo, com vista a alcançar o equilíbrio de longo prazo entre as variáveis do modelo. No processo de estimação do modelo recorreram-se a três estimadores, o primeiro dos quais foi o estimador - *Mean Group* (MG) que estima as regressões com os valores médios de cada variável ao nível de cada país, o segundo o estimador - *Pooled Mean Group* (PMG), cuja finalidade é estabilizar o longo prazo de forma que apenas as informações de curto prazo possam variar, e por fim, os estimadores de efeitos fixos - *Fixed effects* (FE) que estima os parâmetros do painel com a finalidade de verificar as diferenças ao nível das constantes. Além disso, foi aplicado ainda o teste de *Hausman* para decidir qual é o modelo mais apropriado para enquadrar as análises.

O passo seguinte da metodologia foi realizar alguns testes de especificação, no intento de analisar eventuais problemas de dependência transversal dos erros, de heterocedasticidade dos resíduos e de auto correlação de primeira ordem entre os erros dos modelos estimados. Entre esses testes e a propósito da autocorrelação foram utilizados o teste Breusch-Pagan LM,

o teste de Wald Modificado ou *Modified Wald*, o teste de Woodridge, o teste Bhargava, Franzini e Narendranathan de Durbin-Watson (W-D) e o teste de Baltagi-Wu (*ou LBI-Local Best Invariant*). Todos estes testes têm como finalidade reforçar os cuidados com o problema de autocorrelação nos modelos que pode afetar a eficiência dos estimadores e os testes de significância individual dos coeficientes e global do modelo. Posteriormente e na presença do modelo de efeitos fixos (FE) e no sentido de assegurar a robustez dos resultados das estimações na presença dos problemas identificados nas estimações dos modelos descritos anteriormente recorreu-se ao estimador *Driscoll-Kraay* (Driscoll e Kraay, 1998). E finalmente, foram realizadas estimações com o estimador FE 'normal', modelo robusto de efeitos fixos (*FE robust*) e um terceiro serve apenas para efeitos de comparação ou *benchmark*, o *pooled model* - que na sua estimação usa o método ordinário de mínimos quadrados para dados de painel.

No terceiro e último ensaio, numa primeira fase, foi apreciada a correlação das variáveis e o comportamento do fator de inflação da variância (VIF-*Variance inflation factors*) para verificar a presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas centradas do modelo, pois esse fenómeno reduz a significância estatística dos estimadores dos coeficientes - pelas elevadas variâncias que os afetam - e pode pôr em causa os sinais dos mesmos coeficientes levando a interpretações incorrectas dos mesmos quando a multicolinearidade está presente.

Em seguida foi realizado a estimação dos modelos *Random effects* (RE) e FE e aplicou-se o teste de *Hausman* para decidir de entre ambos os modelos qual era o mais apropriado para realizar as análises. Numa terceira fase aplicaram-se os testes Breusch-Pagan para apreciar a dependência seccional ou entre países, calculando a estatística Breusch-Pagan (*statistic*) for *cross-sectional Independence*, o teste de Woodridge e o teste de Wald modificado (*Modified Wald Test*), com a finalidade de identificar possíveis violações das hipóteses de base a que os erros do modelo estimado devem satisfazer. Feito isto e uma vez que se revelou importante remediar os problemas detectados nessa análise aos resíduos estimaram-se o modelo robusto de efeitos fixos (*FE robust*) e o modelo de efeitos fixos (FE) seguindo a metodologia de *Driscoll e Kraay* (usando o estimador *Driscoll-Kraay*).

Após a realização destes procedimentos usou-se o modelo assim depurado para explicar empiricamente os impactos e/ou efeitos dos resíduos depositados em aterros sanitários e dos combustíveis renováveis extraídos de resíduos sólidos sobre as emissões de GEE dos Estados Membros da União Europeia durante o período 1995-2012 e para testar a hipótese de verificação da Curva de Kuznets Ambiental, especificamente no setor de resíduos dos países europeus.

É nossa intenção, passada a fase de discussão e defesa pública deste documento submeter estes três artigos para publicação em revistas científicas internacionais com forte impacto na

comunidade científica depois de os mesmos já terem sido apresentados previamente em seminários de investigação e congressos ou conferências internacionais para recolha de comentários e sugestões já incluídas nas versões finais que aqui se deixam.

Referências

- Assadourian, E. (2010). Transforming Cultures: From Consumerism to Sustainability. *Journal of Macromarketing*, 30(2), 186-191. doi:10.1177/0276146710361932
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 74. doi:10.1016/j.energy.2014.07.008
- Breitung, J. (2000). The Local Power of Some Unit Root Tests for Panel Data. *Advances in Econometrics*, Vol. 15: Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels, 161-178.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560. doi:10.1162/003465398557825
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, EUA.
- Grimaud, A. (1999). Pollution Permits and Sustainable Growth in a Schumpeterian Model. *Journal of Environmental Economics and Management*, 38(3), 249-266. doi:10.1006/jeem.1999.1088
- Grimaud, A., & Tournemaine, F. (2007). Why can an environmental policy tax promote growth through the channel of education? *Ecological Economics*, 62(1), 27-36. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.11.006
- Hart, R. (2004). Growth, environment and innovation—a model with production vintages and environmentally oriented research. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(3), 1078-1098. doi:10.1016/j.jeem.2004.02.001
- Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: a global review of solid waste management*. World Bank, Washington DC. Retrieved 1 December 2014, from <http://www.mswmanagement.com/MSW/Articles/20536.aspx?format=2>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74. doi:10.1016/S0304-4076(03)00092-7
- Krausmann, F., Gingrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Haberl, H., & Fischer-Kowalski, M. (2009). Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68(10), 2696-2705. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.05.007
- Lans Bovenberg, a., & Smulders, S. (1995). Environmental quality and pollution-augmenting technological change in a two-sector endogenous growth model. *Journal of Public Economics*, 57(3), 369-391. doi:10.1016/0047-2727(95)80002-Q
- Levin, A., Lin, C.-F., & James Chu, C.-S. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24. doi:10.1016/S0304-4076(01)00098-7
- Ligthart, J. E., van der Ploeg, F. (1994). Sustainable Growth and Renewable Resources in the Global Economy. *Trade, Innovation, Environment*, 2, 259-280. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-011-0948-2_11#
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652. doi:10.1111/1468-0084.0610s1631
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth: A report for The Club of Rome's project on the predicament of mankind*.

- Universe Books. New York. Retrieved from <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development. *Environmental Impact Assessment Review*, 18(6), 493-520. doi:10.1016/S0195-9255(98)00019-5
- Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: A panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138-1147. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.016
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 1-38. doi:10.1002/jae
- Phillips, P.C.B, Perron, P., 1988. (1998). Testing for a unit root in time series regressions. *Biometrika*, 75, 335-346.
- Porter, M., & Van der Linde, C. (1995). Toward a conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97. doi:10.1257/jep.9.4.97
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2015). *Renewable 2015 Global Status Report*. REN21. Paris: REN21 Secretariat. Retrieved from <http://www.ren21.net/status-of-renewables/regional-status-reports/>
- Sneddon, C., Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (2006). Sustainable development in a post-Brundtland world. *Ecological Economics*, 57(2), 253-268. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.04.013
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [core Writing Team, Pachauri, R. K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland. Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014a). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014b). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, USA. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. United Nations, 21930(December), 32. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Westerlund, J. (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748. doi:10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Retrieved from <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Zaccai, E. (2012). Over two decades in pursuit of sustainable development: Influence, transformations, limits. *Environmental Development*, 1(1), 79-90. doi:10.1016/j.envdev.2011.11.002
- Zuberi, M. J. S., & Ali, S. F. (2015). Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 117-131. doi:10.1016/j.rser.2014.12.028

Capítulo 2

2. Enquadramento temático da Tese

O enquadramento geral do tema neste trabalho foi dividido em duas partes, a primeira parte abrange o escopo geral das investigações no âmbito dos dois primeiros ensaios sobre *energy-growth nexus* e os impactos e/ou efeitos no meio ambiente. Isto é, como se comporta a variável dependente emissões de CO₂ num contexto de utilização das energias renováveis e das energias convencionais utilizando como variável de enquadramento o PIB. A segunda parte do enquadramento trata de apresentar o escopo das pesquisas sobre resíduos sólidos e os principais fatores relacionados com a gestão, políticas públicas, as consequências negativas para a sociedade em geral e as soluções encontradas com vista a resolver o problema das emissões de GEE provenientes dos resíduos sólidos.

Em primeiro lugar, a relação entre o consumo de energia, crescimento económico e a poluição foi introduzida na literatura especializada e científica em três etapas distintas: uma inicial que teve origem a partir do trabalho seminal de Kraft e Kraft (1978), que teve como foco principal a relação entre o consumo de energia e o crescimento económico. Este estudo deu origem ao ramo da literatura mais conhecida como o nexo energia-crescimento económico (*energy-growth nexus*). A segunda etapa ocorre também a partir de outro trabalho seminal, este introduzido por Grossman e Krueger (1991), em que os autores argumentaram que os níveis de rendimentos estimulam a proteção ambiental hipótese original de Kuznets (1955). Esta hipótese estipula que nos países com elevada renda per capita há uma relação direta entre a degradação ambiental e a renda per capita e que a curva que relaciona as variáveis tem o formato de U invertido. Ou seja, as fases iniciais do processo de crescimento dos países causam degradação ambiental devido ao aumento da poluição, mas, à medida que o nível de renda aumenta a tendência pode inverter (Akbofanci et al., 2009; Stern, 2004; Stern, 2003; Selden e Song, 1994). A terceira etapa reuniu em um só nexo o crescimento económico e energia e o meio ambiente fazendo surgir a literatura conhecida como *energy-growth-environment nexus* (Hamit-Hagggar, 2012; Ghosh, 2010).

Nesse âmbito, diversos estudos têm contribuído para o debate ou literatura e têm testado o equilíbrio dessa relação em vários contextos, utilizando frequentemente diversos tipos de energias, geralmente fontes primárias como, por exemplo, os consumos de petróleo, de carvão e de gás natural. Muitas das vezes essas investigações têm abordado o tema com base num único país, ou num conjunto de países e mais recentemente com base em dados de painel misturando períodos de tempo diferentes, e países diferentes e metodologias de

investigação adequadas para este tipo de dados - a metodologia dos dados em painel - recorrendo geralmente com variáveis de enquadramento macroeconómicas - o PIB ou a taxa de crescimento da economia.

2.1. O nexo entre consumo de energia e crescimento económico

A relação entre o consumo de energia e o crescimento económico tem sido explorada por investigadores focando-se especialmente nas relações de causalidade, onde são destacadas quatro hipóteses possíveis de acordo com Behmiri e Manso (2014):

- (i) Do tipo unilateral que pode ocorrer a partir da relação causal unidirecional do consumo de energia para o crescimento económico (Energia→PIB), onde a presença deste tipo de causalidade sinaliza que a economia é independente. Ou seja, este é o caso em que as políticas de conservação de energia podem ter um impacto negativo sobre o crescimento económico, havendo necessidade dos decisores políticos aplicarem políticas diferenciadas para inibir o desperdício de energia;
- (ii) Hipótese de conservação (PIB→Energia), o contrário da primeira hipótese, assente na verificação de uma relação causal unidirecional do crescimento económico (causa) para o consumo de energia (efeito). Neste caso, as variações do crescimento económico podem afetar o consumo de energia, porém, as alterações de consumo de energia não afetam o crescimento económico daí o facto dessa relação ser tipo unilateral;
- (iii) A hipótese de neutralidade (Energia≠PIB), que pode ocorrer quando o consumo de energia e o crescimento económico são independentes, nenhuma delas influenciando a outra. Neste caso, a política de conservação de energia não tem impacto sobre o crescimento económico e vice-versa;
- (iv) A hipótese de *feedback* (Energia↔PIB), que ocorre quando se comprova a existência de uma relação causal bi-direcional entre o consumo de energia e o crescimento económico, caso em que o crescimento económico provoca ou acarreta o aumento do consumo de energia e vice-versa o consumo de energia provoca ou acarreta o crescimento económico.

É vasta a literatura que se tem dedicado a pesquisar esses relacionamentos entre as duas variáveis em todo o mundo. As implicações políticas associadas à ilação causal do consumo de energia e crescimento económico podem ser encontradas em diversos trabalhos. O Quadro 1 descreve de uma forma sintética as principais pesquisas separadas por países, por autores, por metodologias, por períodos de análise e pelo tipo de resultados obtidos e publicados pela literatura especializada.

Quadro 1. Síntese da literatura sobre o nexos de causalidade consumo de energia - crescimento económico

Países	Período	Resultado	Metodologia e autor
			ARDL/Engler-Granger /
Indonésia	1971-2009	Relação entre Energia↔PIB	Saboori e Sulaiman (2013)
Cingapura	1971-2009	Relação entre PIB→Energia	
Filipinas	1971-2009	Relação entre Energia↔PIB	
Malásia	1971-2009	Relação entre Energia↔PIB	
Tailândia	1971-2009	Relação entre PIB→Energia	
			ARDL
Turquia	1960-2005	Relação entre Energia≠PIB	Ozturk e Acaravci (2013)
Tanzânia	1971-2006	Relação entre Energia→PIB	(Odhiambo, 2009)
			ARDL/Toda-Yamamoto
Argélia	1980-2002	Relação entre PIB→Eletricidade	Squalli (2007)
Indonésia	1980-2002	Relação entre Eletricidade→PIB	
Iran	1980-2002	Relação entre PIB↔Eletricidade	
Iraque	1980-2002	Relação entre PIB→Eletricidade	
Kuwait	1980-2002	Relação entre PIB→Eletricidade	
Libia	1980-2002	Relação entre PIB→Eletricidade	
Nigéria	1980-2002	Relação entre Eletricidade→PIB	
Catar	1980-2002	Relação entre PIB↔Eletricidade	
Arábia S.	1980-2002	Relação entre PIB↔Eletricidade	
EAU	1980-2002	Relação entre Eletricidade→PIB	
Venezuela	1980-2002	Relação entre Eletricidade→PIB	
			Causalidade de Granger
Argentina	1950-1990	Relação entre Energia↔PIB	Soytas e Sari (2003)
Brasil	1980-2007	Relação entre Energia↔PIB	Pao e Tsai (2011b)
Macau	1999-2008	Relação entre PIB→Eletricidade	Lai et al. (2011)
Rússia	1990-2007	Relação entre Energia↔PIB	Pao et al. (2011)
USA	1974-1989	Relação entre Energia≠PIB	Yu e Jin (1992)
USA	1946-2000	Relação entre Energia→PIB	Warr e Ayres (2010)
			Causalidade de Granger
África do Sul	1980-2005	Relação entre PIB≠Carvão	Jinke et al. (2008)
China	1980-2005	Relação entre PIB→Carvão	
Coréia do Sul	1980-2005	Relação entre PIB≠Carvão	
Índia	1980-2005	Relação entre PIB≠Carvão	
Japão	1980-2005	Relação entre PIB→Carvão	
			Causalidade de Granger

Ensaio sobre o Impacto do Consumo de Energias de Origem Fossil e Renovável, o Crescimento Económico e a Tecnologia Sobre o Ambiente - Uma Abordagem com Modelação ARDL e com Dados de Painel

Países	Período	Resultado	Metodologia e autor
Colômbia	1970-1984	Relação entre PIB→Eletricidade	Murray e Nan (1996)
El Salvador	1980-2005	Relação entre PIB→Eletricidade	
México	1980-2005	Relação entre PIB→Eletricidade	
			Causalidade de Granger
Argentina	1950-1984	Relação entre Energia→PIB	Nachane et al. (1988)
Brasil	1950-1984	Relação entre Energia↔PIB	
Chile	1950-1984	Relação entre Energia→PIB	
Colômbia	1950-1984	Relação entre Energia↔PIB	
Venezuela	1950-1984	Relação entre Energia↔PIB	
			Causalidade de Granger
Brasil	1963-1993	Relação entre Energia→PIB	Cheng (1997)
México	1963-1993	Relação entre Energia≠PIB	
Venezuela	1963-1993	Relação entre Energia≠PIB	
			Johansen-Joselius
Argentina	1971-2000	Relação entre Energia↔PIB	Chontanawat et al. (2008)
Bolívia	1971-2000	Relação entre PIB→Energia	
Brasil	1971-2000	Relação entre Energia↔PIB	
Chile	1971-2000	Relação entre Energia→PIB	
Colômbia	1971-2000	Relação entre Energia→PIB	
Equador	1971-2000	Relação entre Energia≠PIB	
Paraguai	1971-2000	Relação entre PIB→Energia	
Peru	1971-2000	Relação entre PIB→Energia	
Uruguai	1971-2000	Relação entre Energia→PIB	
Venezuela	1971-2000	Relação entre PIB→Energia	
			Sims test
USA	1947-1974	Relação entre PIB→Energia	Kraft e Kraft (1978)
			TAR
Taiwan	1955-2003	Relação entre Energia→PIB	Lee e Chang (2007)
			VAR
USA	1974-1990	Relação entre PIB→Energia	Stern (1993)
			VAR Markov-Switching
USA	1960-2005	Relação entre Energia↔PIB	Fallahi (2011)
			Painel/VECM
Tunísia	1980-2007		Abid e Sebri (2012)
A. Central	1980-2004	Relação entre Energia→PIB	Apergis e Payne (2009)
A. do Sul	1980-2005	Relação entre Energia→PIB	Apergis e Payne (2010)
África Sub-Sa	1980-2008	Relação entre Energia↔PIB	Al-mulali e Sab (2012)
ASEAN	1980-2006	Relação entre Eletricidade→PIB	Lean E Smyth (2010)

Ensaio sobre o Impacto do Consumo de Energias de Origem Fóssil e Renovável, o Crescimento Económico e a Tecnologia Sobre o Ambiente - Uma Abordagem com Modelação ARDL e com Dados de Painel

Países	Período	Resultado	Metodologia e autor
BRICS	1992-2007	Relação entre Energia↔PIB	Pao e Tsai (2011a)
China	1982-2004	Relação entre Energia↔PIB	Chang (2010)
França	1960-2000	Relação entre PIB→Energia	Ang (2007)
MENA	1980-2009	Relação entre Energia↔PIB	Al-mulali (2011)
OCDE	1960-2005	Relação entre PIB→Energia	Costantini e Martini (2010)
Países Asiáticos	1971-2002	Relação entre Energia→PIB	Lee e Chang (2008)
Turquia	1960-2006	Relação entre Energia≠PIB	Halicioglu (2009)
Painel ARDL			
5 países europeus	1965-2009	Relação entre Energia↔ PIB	Fuinhas e Marques (2012)
Painel Granger			
15 países europeus	1990-2011	Relação entre Energia→PIB	Ucan et al. (2014)
OCDE	1976-2009	Relação entre <i>Crude oil</i> ↔PIB	(Behmiri e Manso, 2012)
América Latina	1980-2012	Relação entre <i>Crude oil</i> →PIB	(Behmiri e Manso, 2014)
G-7	1972-2002	Relação entre Energia→PIB	Narayan e Smyth (2008)
OCDE	1960-2001	Relação entre Energia↔PIB	Lee et al. (2008)
Países exportadores petróleo	1971-2002	Relação entre Energia↔PIB	Mehrara (2007)

Nota: ARDL - *Auto Regressive Distributed Lag*; VAR - *Vector Auto Regressive*; VECM - *Vector Error Correction Model*; TAR - *Threshold Auto Regressive model*.

2.2. O nexó consumo de energia, crescimento económico e meio ambiente

O relacionamento entre o consumo de energia, crescimento económico e meio ambiente tem sido minuciosamente examinado no âmbito de energias primárias. Por exemplo, Lotfalipour et al. (2010), encontraram evidência empírica de relações causais entre crescimento económico e as emissões de CO₂ para o Irão no período 1967-2007. Resultado semelhante foi encontrado por Apergis e Payne (2009) para um conjunto de países da América Central. Soytas et al. (2007) e Menyah e Wolde-Rufael (2010a) também encontraram evidência empírica de relação causal entre consumo de energia e emissões de CO₂ durante o período 1960-2004 e 1960-2007 para os Estados Unidos da América, respectivamente. O mesmo resultado também foi encontrado por Zhang e Cheng (2009) para a China e por Niu et al. (2011) para os países Asiáticos do Pacífico. Por sua vez Alam et al. (2012) também confirmaram as mesmas relações para a economia de Bangladesh no período 1972-2006.

Ghosh (2010) examinou a economia da Índia e conseguiu encontrar evidência de relação causal entre crescimento económico e as emissões de CO₂ e de relação entre consumo de energia e as emissões de CO₂ no período 1971-2006. Wang et al. (2011) encontraram evidência empírica de relação causal entre consumo de energia e as emissões de dióxido de carbono na China; neste mesmo estudo encontrou-se evidência de que tanto o consumo de energia quanto o crescimento económico a longo prazo causavam as emissões de CO₂. A mesma relação foi encontrada por Bloch et al. (2012) e também por Chang (2010) entre o consumo de carvão e o crescimento económico causando as emissões de poluentes para a economia Chinesa. Outros estudos que apresentaram evidências de relação causal entre consumo de energia e emissões de CO₂ foram os de Chandran Govindaraju e Tang (2013) para Índia e a China, o de Al-Mulali (2011) para os países do Médio Oriente e Norte de África ou MENA (*Midle East e North Africa*), o de Dinda e Coondoo (2006) para 88 países (dados referentes ao período de 1960-1990) e o de Pao e Tsai (2010) para um painel constituído por quatro países dos chamados BRIC - Brasil, Rússia, Índia e China - que, neste caso utilizaram dados estatísticos referentes ao período 1971-2005, encontrando uma relação entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico.

Pao e Tsai (2011) também obtiveram resultados idênticos para o Brasil com dados do período 1980-2007 e confirmaram a presença de U invertido e a hipótese CKA. Por sua vez Pao et al. (2011), identificaram uma relação de causalidade entre o crescimento económico e as emissões de CO₂ para a Rússia com base em dados do período 1990-2007. Menyah e Wolde-Rufael (2010b) encontraram evidência empírica a favor de uma relação de causalidade entre as emissões de CO₂ e o crescimento económico e entre a energia e as emissões de CO₂ para a economia da África do Sul.

Mais recentemente um estudo realizado por Bella et al. (2014) concluiu que de entre três grupos de países da OCDE existe um grupo que reúne a Austrália, Canadá, Irlanda, Nova Zelândia, Reino Unido e Estados Unidos da América que é preocupante, pois espera-se que para estes países a degradação ambiental aumente no longo prazo. Além disso, a ausência de qualquernexo de causalidade entre consumo de energia elétrica e emissão de CO₂, segundo os autores, prejudica a eficácia das políticas de conservação de energia, uma vez, que as políticas contra a degradação do meio ambiente dificilmente se justificam por razões de ordem económica; os autores, complementam dizendo ainda que só uma mudança de perspectiva orientada para a ação pública é que pode oferecer razões económicas sólidas para a intervenção pública contra a degradação ambiental, donde, o nexode causalidade pode contribuir para intensificar essa visão pessimista (Bella et al., 2014).

2.3. Resíduos sólidos: produção, gestão e o tratamento

Os impactos ambientais da produção e as políticas públicas de mitigação de resíduos sólidos urbanos (RSU) são questões cada vez mais proeminentes ou importantes na agenda das nações, pois, geram elevados custos económicos decorrentes da sua eliminação (Mazzanti e Zoboli, 2008), seja nos países em vias de desenvolvimento, em que o modelo dominante de mitigação deste tipo de externalidade tem sido o recurso ao aterramento sanitário (Read et al., 1997), seja nos países desenvolvidos em que a aposta tem-se focado nareciclagem dos resíduos inorgânicos e/ou na compostagem dos lixos orgânicos ou na incineração de ambos, enviando o restante para aterros controlados. Contudo, mesmo nesta última situação, a dependência do aterro sanitário ainda é relativamente alta em todo o mundo (Mazzanti e Zoboli, 2008).

A literatura sobre RSU tem enfatizado que a raiz do problema está ligada à capacidade limitada que os aterros sanitários apresentam e a grande quantidade de resíduos gerados que tem crescido exponencialmente à escala global. Este entendimento foi causa determinante de uma “revolução silenciosa” que tem vindo a ser refletida nas legislações dos países desenvolvidos no passado recente, na sequência dos alertas que têm sido enviados às autoridades governamentais para melhorarem o planeamento das estratégias de mitigação e para procurarem novas perspectivas de bem-estar social, económico e ambiental (Cruz et al., 2014; Okuda e Thomson, 2007 e Hansen et al., 2002). No campo regulatório, a União Europeia, estabeleceu um novo marco ou quadro nos sistemas de gestão ou gerenciamento, ao responsabilizar os agentes económicos pelo problema de geração, distribuição, importação e utilização de produtos embalados (Bailey, 1999).

Em termos de políticas públicas a UE tem incentivado cada vez mais a via dos três “R” - reduzir, reutilizar e reciclar, impondo controlos cada vez mais rigorosos das ameaças que a

exposição inadequada de resíduos sólidos representa para a economia do setor público e para os danos ambientais, uma vez que, os reflexos recaem sobre a sociedade, além do empobrecimento dos recursos naturais e, por isso, exigindo uma ação mais firme de proteção aos níveis nacionais de cada Estado e, em especial, ao nível global da própria União Europeia (European Commission, 1999). Contudo, dadas as diferenças substanciais ao nível de produção e do tratamento dos resíduos de país para país, existe uma afetação significativa na forma como cada Estado lida com o problema, apresentando-se inclusivamente como dadas as diferenças de estruturas industriais e socioeconómicas dos países (European Environment Agency, 2010).

Países desenvolvidos como a Suécia, a Bélgica e a Dinamarca conseguem reaproveitar mais de 90% de resíduos gerados pelos respetivos países. Situações inversas são observadas em países em via de desenvolvimento, principalmente na Ásia, África e América Latina, países que estão geralmente associados a problemas estruturais decorrentes do sistema básico de recolha. Nestes locais e países nem todos os resíduos são recolhidos e por isso não podem receber os tratamentos adequados. O cenário pode ser mais grave se o problema incidir sobre regiões com elevada densidade demográfica como são os casos da China, da Índia, do México e do Brasil, pois nestes países cerca de 90% dos resíduos sólidos produzidos não recebem o respetivo tratamento nos locais de deposição, e transformam-se em fonte de catalisação e de emissão de GEE: CO₂, N₂O e CH₄ (Lino e Ismail, 2011).

Entre uma variedade de serviços contratados pelo setor público para os resíduos, inclui-se, o gerenciamento municipal dos resíduos; embora a contratação de serviços de colheita seja simples, por exemplo a recolha do lixo gerado e a implementação de um sistema de tratamento e recuperação de materiais é muito mais complexa. Neste sentido, encontrar formas de fornecer um serviço de gestão com qualidade e baixo custo para o setor público conjugado com a reciclagem dos resíduos recolhidos é o principal desafio para fomentar a redução de RSU nos centros mais populosos (Walls, 2003). Desta forma, o gerenciamento de resíduos sólidos nessas áreas para ser sustentável tem que ter associada a participação do Estado, do setor económico e da sociedade (Ezebilo e Animansaun, 2011).

A visão sistemática da literatura sobre resíduos sólidos é direcionada para as estruturas teóricas e metodológicas de mitigação baseadas nas políticas de comando e controlo. No entanto, a partir do ano 2000 essas políticas passaram a sofrer algumas alterações com a introdução de novas abordagens com recursos à comunicação social (aos media), alertando e despertando a sociedade para valores sociais como, por exemplo, mensagens do tipo não deitar lixo no chão ou na rua, faça a separação dos lixos, e outras ações cognitivas. No campo dos instrumentos económicos com o mesmo fim têm sido adotadas políticas fiscais adequadas (impostos), de subsídição direta, de atribuição de créditos fiscais ou bonificações, de atribuição de licenças para emissão em sistemas de negociação e/ou direitos adquiridos (Lehmann, 2012; Fischer, 2008; Gunningham et al., 1998).

Segundo Shmelev e Powell (2006), a década de 1990 ficou marcada por diversas tentativas de melhorar ou aprimorar os estudos no sentido de analisar a eficiência do sistema de monitorização e gestão de RSU. Muitas análises foram realizadas considerando diferentes fatores económicos e socioambientais. Contudo, os mesmos autores referem que as pesquisas não conseguiram até agora demonstrar uma imagem holística dos sistemas de gestão, onde os fatores identificassem impactos de relevâncias, e interferências de processos como a tecnologia, a logística, e principalmente as partes afetadas pela cadeia de distribuição do setor de RSU. Para Marques et al. (2012) a literatura disponível apresenta-se escassa, e além disso, segundo Lehmann (2012), a literatura elencada com abordagem dos problemas ambientais e de fatores económicos assenta no desempenho de políticas simples ou na melhor das hipóteses na comparação de duas ou mais políticas de comando e controlo (Lehmann, 2012).

2.3.1. A geração e o tratamento de resíduos

Para compreender os problemas relacionados a geração e tratamento de RSU é necessário proceder à sua caracterização no sistema que engloba a gestão e operação de tratameto e que tem pautado cada vez mais a melhoria da eficiência do tratamento de RSU (Metin et al., 2003). Como referem Garechana et al. (2014) há uma extensa e complexa cadeia produtiva a montante que envolve interações de atividades de reorganização, classificação e de separação de materiais desempenhadas pelo setor de serviços. Após esses diferentes processos produtivos a jusante, os RSU transformam-se em novas matérias-primas pelo setor industrial fechando o ciclo.

Massarutto (2007), dividiu a amplitude do mercado em três fases inter-relacionadas: a primeira delas diz respeito ao fornecimento de serviços necessários para a atividade de recolha; a segunda, ao mercado de manuseamento e eliminação, e a terceira à reciclagem. Outros aspectos não menos importantes referem-se à estrutura de mercado quando a matéria-prima reciclada é reincorporada no ciclo económico pelo segundo setor, requerendo novas interpretações de base teórica e económica.

Outros estudos que abordam esses assuntos remetem para as pesquisas realizadas por Smith (1972), cujas análises são aplicadas à realidade dos Estados Unidos da América (EUA) e que tinham como objetivo contrastar os percentuais/as quotas ótimo(a)s de reciclagem e de deposição final nos aterros sanitários. Por sua vez, Lavee (2007) e Masui et al. (2000) estimaram o custo direto de recolha, deposição e incineração em relação à reciclagem. Nessa vertente de pesquisa o custo é o indicador mais usado, apresentando-se os custos de recolha inferiores que os custos de reciclagem, e identificando-se a presença de elementos que favorecem a alternativa da deposição final com melhores condições do que a reciclagem nos

processos de gestão. Estes resultados vão de encontro ao descrito por Massarutto et al. (2011) que confirmaram existirem “custos extras” aos operadores dos sistemas de gestão privado e público no segundo e terceiro setor (indústria e serviços), respectivamente, quando estes empregam a reciclagem como instrumento de mitigação deste tipo de externalidades.

Todavia, em dois estudos anteriores, Lavee (2007) e Nakamura (1999) já haviam argumentado que mesmo ignorando custos externos de gerenciamento de aterros sanitários empregando a reciclagem, os municípios poderiam ser eficientes. Esta dicotomia é respaldada pela dinâmica do sistema de gestão, pois, neste caso, não somente os custos de recolha e tratamento atual, mas também os custos futuros com os aterros sanitários deveriam ser considerados. Além disso, a recuperação material e energética segundo estes autores conforma a principal alternativa de mitigação do problema da falta de espaço nos aterros e da escassez de locais para implementação de novas unidades sanitárias.

Quanto à estrutura de mercado, um estudo realizado por Callan e Thomas (2001), encontraram evidência empírica de que o setor de resíduos sólidos apresentava economias de escala de produtos e economias de escopo no mercado como um todo. Estes autores defenderam a existência de uma complementariedade de custos entre reciclagem e deposição final e concluíram existirem retornos de grande escala para reciclagem e retornos de escala constante considerando a deposição final e/ou incineração, respectivamente. No entanto, Bohm et al. (2010), estimando funções de custos demonstraram haver economias de escalas em ambas as atividades, mas que desapareciam à medida que a cota de reciclagem era aumentada. Outros estudos fornecem extensas avaliações sobre economias de escalas no setor de RSU (Weng e Fujiwara, 2011; Abrate et al., 2011; Lavee e Khatib, 2010; Bel e Fageda, 2010; Carroll, 1995).

2.3.2. A tecnologia e a gestão de aterros sanitários

Um segundo campo de pesquisa prende-se com a utilização de tecnologias e com o formato de gerenciamento empregado pelos gestores de aterros sanitários. A organização deste setor e as questões tecnológicas podem ser avaliadas por intermédio do desempenho da eficiência e da capacidade de inovação produtiva (Perotto et al., 2008). Todavia, conclui-se também, que o método empregue depende do tipo de política adotada por cada localidade. De acordo com Masui et al. (2000) a população no Japão considera o tipo de política pública para RSU muito importante devido à elevada densidade demográfica em relação ao reduzido espaço; inclusive as zonas rurais estavam recebendo parte de RSU gerados pelo eixo mais dinâmico da economia japonesa; esta condição, dentre outras variáveis demonstravam a sobrecarga da capacidade de gestão de RSU do país.

Por sua vez Okuda e Thomson (2007) confirmaram que a gestão de RSU no Japão passou por uma fase crítica devido à escassez de espaço territorial e à forte resistência da população baseada no NIMBY (*Not In My Back Yard*), o que se refletiu em mudanças significativas das normas legislativas dedicadas ao planeamento do uso do solo. Este tipo de preocupação já tinha sido iniciado em Inglaterra tendo ganho adeptos em diversas outras partes do mundo. Ainda segundo os autores este tipo de apelo popular teve reflexo direto nas decisões de políticas públicas orientadas para a resolução do problema de gestão de RSU no Japão, cuja capacidade de integração dos municípios se converteu em solução ótima levando o país a alterar a sua forma de eliminação tradicional de RSU, ao trocar incineradores de custos elevados e altamente poluentes por tecnologias de reciclagem e de recuperação de energia. O resultado desta mudança colocou o Japão na vanguarda da indústria de transformação de RSU, país que se tornou líder mundial na recuperação de matéria-prima a partir de RSU.

De modo geral o sistema de gestão/gerenciamento e de organização relacionado com as questões tecnológicas (incineração, recuperação material, energia como formas de tratamentos dos resíduos gerados) é um aspecto importante ligado diretamente à participação do setor privado no mercado de RSU (Buclet e Godard, 2000). De acordo com Lehmann (2012), este tipo de abordagem tecnológica capta a geração de um tipo de externalidade positiva que advém de um *spillover* tecnológico gerado por empreendedores inovadores que contribuem para alterações tecnológicas, provocando um impacto directo na forma como as políticas públicas são conduzidas para a resolução de problemas de resíduos no meio ambiente. Conforme afirmado por Jaffe et al. (2005), políticas de comando e controlo baseadas em tecnologias podem servir como complemento de controlo deste tipo de poluição.

As emissões de GEE associadas às atividades económicas incluem determinada dimensão e unidade funcional como, por exemplo, produtos, consumo das famílias, empresas, cidades e países (Peters, 2010). A constante necessidade e desejos dos consumidores para obtenção de produtos e serviços são em parte os principais responsáveis pelo ampliado nível de consumo, tais como sistemas de infraestrutura de transportes, de produção, de resíduos e dos sistemas de energias. Estes processos, por sua vez, “consomem recursos materiais e energéticos e liberam os resíduos poluentes” (IPCC, 2014b).

Contudo, o resultado deste enquadramento no âmbito das pesquisas associadas aos problemas de resíduos sólidos, sugere não haver um padrão único de abordagem por parte desses estudos. Mas contém elementos-chave do guarda-chuva teórico "custo" e "eficiência" a partir da observação de empresas que operam o sistema de gestão e de reciclagem de resíduos sólidos. O uso de instrumentos de política pública é uma visão complementar de um movimento maior que possivelmente pode explicar porque se recicla e em que nível de custos pode ser alcançando o desenvolvimento sustentável por parte do setor de resíduos sólidos. Assim, a abordagem da combinação de políticas de comando e de controlo para a gestão de

RSU ajustadas à sua estrutura produtiva pode indicar uma possível alternativa no nível da reciclagem de resíduos sólidos.

Portanto, as melhorias na eficiência de utilização dos bens de consumo e materiais, reciclagem, reutilização e reduções na demanda por produtos, além da eficiência energética pode ajudar a reduzir as emissões de GEE. Essas questões são centrais para os debates atuais e podem ajudar na convergência de muitas outras abordagens como os custos, os aspectos relacionados com a logística, os custos de transação e outras falhas de mercado. Este entendimento é fundamental para poder lançar/orientar esta investigação como, por exemplo, saber que abordagem seguir ao estudar a relação causa-efeito entre renda per capita e geração de resíduos tendo subjacente a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA).

Como já foi observado o consumo global de recursos materiais continua a crescer e com eles continua a intensificar-se a degradação ambiental associada à extração de recursos e às emissões de GEE global, apesar do aumento da produtividade e da eficiência alcançado pelo desenvolvimento tecnológico e pela ecoeficiência ocorridos ao longo das últimas duas décadas para mitigar esses problemas (IPCC, 2014b). Portanto, pode-se concluir, deste enquadramento geral, que a convergência destes dois temas cruciais no âmbito das emissões de GEE (consumo de energia-crescimento económico e o impacto dos resíduos sólidos gerados) fornece uma noção globalizada das pesquisas e aclara ou dá coerência a cada um dos temas abordados nesta investigação.

Referências

- Abid, M., & Sebri, M. (2012). Energy Consumption-Economic Growth Nexus: Does the Level of Aggregation Matter? *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2(2), 55-62. Retrieved from www.econjournals.com
- Akbostancı, E., Türüt-Aşık, S., & Tunç, G. İ. (2009). The relationship between income and environment in Turkey: Is there an environmental Kuznets curve? *Energy Policy*, 37(3), 861-867. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.088>
- Al-mulali, U. (2011). Oil consumption, CO2 emission and economic growth in MENA countries. *Energy*, 36(10), 6165-6171. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.048>
- Al-mulali, U., & Binti Che Sab, C. N. (2012). The impact of energy consumption and CO2 emission on the economic growth and financial development in the Sub Saharan African countries. *Energy*, 39(1), 180-186. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.032>
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772-4778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.03.032>
- Antonio Massarutto, Alessandro de Carli, M. G. (2011). Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential for energy recovery. *Waste Management*, 31(9-10), 2074-2084. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.05.013>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO2 emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.048>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 32(6), 1421-1426. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.04.006>
- Bailey, I. (1999). Flexibility, Harmonization and the Single Market in EU Environmental Policy: The Packaging Waste Directive. *Journal of Common Market Studies*, 37(4), 549-571. <https://doi.org/10.1111/1468-5965.00196>
- Bashiri Behmiri, N., & Pires Manso, J. R. (2012). Crude oil conservation policy hypothesis in OECD (organisation for economic cooperation and development) countries: A multivariate panel Granger causality test. *Energy*, 43(1), 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.032>
- Behmiri, N. B., & Pires Manso, J. R. (2014). The linkage between crude oil consumption and economic growth in Latin America: The panel framework investigations for multiple regions. *Energy*, 72, 233-241. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.028>
- Bel, G., & Fageda, X. (2010). Empirical analysis of solid management waste costs: Some evidence from Galicia, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(3), 187-193. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.07.015>
- Bella, G., Massidda, C., & Mattana, P. (2014). The relationship among CO2 emissions, electricity power consumption and GDP in OECD countries. *Journal of Policy Modeling*, 36(6), 970-985. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2014.08.006>
- Bloch, H., Rafiq, S., & Salim, R. (2012). Coal consumption, CO₂ emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses. *Energy Economics*, 34(2), 518-528. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.014>
- Bohm, R. A., Folz, D. H., Kinnaman, T. C., & Podolsky, M. J. (2010). The costs of municipal waste and recycling programs. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 864-871. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.005>
- Buclet, N., Godard, O. (2000). Municipal Waste Management in Europe: a Comparative Study

- in Building Regimes (pp. 203-224). Retrieved from <http://www.springer.com/us/book/9780792358855>
- Chandran Govindaraju, V. G. R., & Tang, C. F. (2013). The dynamic links between CO2 emissions, economic growth and coal consumption in China and India. *Applied Energy*, 104, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.042>
- Chang, C.-C. (2010). A multivariate causality test of carbon dioxide emissions, energy consumption and economic growth in China. *Applied Energy*, 87(11), 3533-3537. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.004>
- Cheng, B. S. (1997). Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: A time series analysis. *Applied Economics Letters*, 4(11), 671-674. <https://doi.org/10.1080/758530646>
- Chontanawat, J., Hunt, L. C., & Pierse, R. (2008). Does energy consumption cause economic growth?: Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 209-220. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.10.003>
- Costantini, V., & Martini, C. (2010). The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*, 32(3), 591-603. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.09.013>
- Da Cruz, N. F., Ferreira, S., Cabral, M., Simões, P., & Marques, R. C. (2014). Packaging waste recycling in Europe: Is the industry paying for it? *Waste Management*, 34(2), 298-308. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.035>
- Dinda, S., & Coondoo, D. (2006). Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics*, 57, 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.03.028>
- E. E. Ezebilu, E. D. A. (2011). Households' perceptions of private sector municipal solid waste management services: a binary choice analysis. *International Journal of Environment Science And Technology*, 8, 677-686. Retrieved from <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF03326252>
- European Commission. (1999). *EU focus on waste management*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Retrieved from <http://bookshop.europa.eu/en/eu-focus-on-waste-management-pbCR1298368/>
- European Environment Agency. (2010). *The European Environment - State and Outlook 2010: Synthesis*. Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis/download>
- Fallahi, F. (2011). Causal relationship between energy consumption (EC) and GDP: A Markov-switching (MS) causality. *Energy*, 36(7), 4165-4170. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.027>
- Fischer, C. (2008). Emissions pricing, spillovers, and public investment in environmentally friendly technologies. *Energy Economics*, 30, 487-502. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.06.001>
- Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2012). Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965-2009). *Energy Economics*, 34(2), 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.10.003>
- Garechana, G., Rio-Belver, R., Cilleruelo, E., & Gavilanes-Trapote, J. (2014). Capturing waste recycling science. *Technological Forecasting and Social Change*, 81, 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.07.005>
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008-3014. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.040>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement* (No. 3914). National Bureau of Economic Research Working Paper Series (Vol. No. 3914). Retrieved from <http://www.nber.org/papers/w3914>

- Gunningham, Neil. Sinclair, Darren. Grabosky, P. N. (1998). *Smart Regulation: Designing Environmental Policy*. (O. Oxford University Press, Ed.) (Smart regu). New York: Clarendon Press. Retrieved from <http://trove.nla.gov.au/work/8364652?q&versionId=44756208>
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.012>
- Hamit-Haggar, M. (2012). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective. *Energy Economics*, 34(1), 358-364. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.06.005>
- Hansen, W., Christopher, M., & Verbuecheln, M. (2002). EU Waste Policy and Challenges for Regional and Local Authorities. ... *and European Environmental Policy*, (December).
- Jaffe, A. B., Newell, R. G., & Stavins, R. N. (2005). A tale of two market failures: Technology and environmental policy. *Ecological Economics*, 54(2-3), 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.12.027>
- Jahangir Alam, M., Ara Begum, I., Buysse, J., & Van Huylenbroeck, G. (2012). Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: Cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*, 45, 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.02.022>
- Jinke, L., Hualing, S., & Dianming, G. (2008). Causality relationship between coal consumption and GDP: Difference of major OECD and non-OECD countries. *Applied Energy*, 85(6), 421-429. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.10.007>
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy Development*, 3, 401-403.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *America Economic Review*, 45(1), 1-28.
- Lai, T. M., To, W. M., Lo, W. C., Choy, Y. S., & Lam, K. H. (2011). The causal relationship between electricity consumption and economic growth in a Gaming and Tourism Center: The case of Macao SAR, the People's Republic of China. *Energy*, 36(2), 1134-1142. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.036>
- Lavee, D. (2007). Is Municipal Solid Waste Recycling Economically Efficient? *Environmental Management*, 40(6), 926-943. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9000-7>
- Lavee, D., & Khatib, M. (2010). Benchmarking in municipal solid waste recycling. *Waste Management*, 30(11), 2204-2208. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.032>
- Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.02.003>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2007). The impact of energy consumption on economic growth: Evidence from linear and nonlinear models in Taiwan. *Energy*, 32(12), 2282-2294. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.017>
- Lee, C.-C., & Chang, C.-P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, 30(1), 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.003>
- Lee, C. C., Chang, C. P., & Chen, P. F. (2008). Energy-income causality in OECD countries revisited: The key role of capital stock. *Energy Economics*, 30(5), 2359-2373. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.01.005>
- Lehmann, P. (2012). Justifying a Policy Mix for Pollution Control: a Review of Economic Literature. *Journal of Economic Surveys*, 26(1), 71-97. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2010.00628.x>
- Lino, F. a M., & Ismail, K. a R. (2011). Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. *Energy Policy*, 39(6), 3496-3502. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.03.048>

- Lotfalipour, M. R., Falahi, M. A., & Ashena, M. (2010). Economic growth, CO2 emissions, and fossil fuels consumption in Iran. *Energy*, 35(12), 5115-5120. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.08.004>
- Marques, R. C., da Cruz, N. F., & Carvalho, P. (2012). Assessing and exploring (in)efficiency in Portuguese recycling systems using non-parametric methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.005>
- Massarutto, A. (2007). Municipal waste management as a local utility: Options for competition in an environmentally-regulated industry. *Utilities Policy*, 15(1), 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2006.09.003>
- Masui, T., Morita, T., & Kyogoku, J. (2000). Analysis of recycling activities using multi-sectoral economic model with material flow. *European Journal of Operational Research*, 122, 405-415. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00242-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00242-8)
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2008). Waste generation, waste disposal and policy effectiveness. Evidence on decoupling from the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1221-1234. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.07.003>
- Mehrara, M. (2007). Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*, 35(5), 2939-2945. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.10.018>
- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010a). CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.024>
- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010b). Energy consumption, pollutant emissions and economic growth in South Africa. *Energy Economics*, 32(6), 1374-1382. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.08.002>
- Metin, E., Eröztürk, a., & Neyim, C. (2003). Solid waste management practices and review of recovery and recycling operations in Turkey. *Waste Management*, 23(5), 425-432. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(03\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(03)00070-9)
- Murray, D. A., Nan, G. D. (1996). A definition of the gross domestic product-electrification interrelationship. *Journal of Energy and Development*, 19, 275-283.
- Nachane, D. M., Nadkarni, R. M., & Karnik, A. V. (1988). Co-Integration and Causality Testing of the Energy-GDP Relationship: A Cross-Country Study. *Applied Economics*, 20(11), 1511-1531. <https://doi.org/10.1080/00036848800000083>
- Nakamura, S. (1999). An interindustry approach to analyzing economic and environmental effects of the recycling of waste. *Ecological Economics*, 28(1), 133-145. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00031-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00031-7)
- Narayan, P. K., & Smyth, R. (2008). Energy consumption and real GDP in G7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks. *Energy Economics*, 30(5), 2331-2341. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.10.006>
- Niu, S., Ding, Y., Niu, Y., Li, Y., & Luo, G. (2011). Economic growth, energy conservation and emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries. *Energy Policy*, 39(4), 2121-2131. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.003>
- Odhiambo, N. M. (2009). Energy consumption and economic growth nexus in Tanzania: An ARDL bounds testing approach. *Energy Policy*, 37(2), 617-622. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.077>
- Okuda, I., & Thomson, V. E. (2007). Regionalization of municipal solid waste management in Japan: Balancing the proximity principle with economic efficiency. *Environmental Management*, 40(1), 12-19. <https://doi.org/10.1007/s00267-006-0194-x>
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2013). The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey. *Energy Economics*,

36, 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.08.025>

- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850-7860. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.045>
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450-2458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.032>
- Pao, H.-T., Yu, H.-C., & Yang, Y.-H. (2011). Modeling the CO2 emissions, energy use, and economic growth in Russia. *Energy*, 36(8), 5094-5100. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.004>
- Pao, H. T., & Tsai, C. M. (2011). Multivariate Granger causality between CO2 emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): Evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries. *Energy*, 36(1), 685-693. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.041>
- Perotto, E., Canziani, R., Marchesi, R., & Butelli, P. (2008). Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), 517-530. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.01.004>
- Peters, G. (2010). Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.004>
- Read, A. D., Phillips, P., & Robinson, G. (1997). Landfill as a future waste management option in England: The view of landfill operators. *Resources, Conservation and Recycling*, 20(3), 183-205. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(97\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(97)00017-7)
- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach. *Energy*, 55, 813-822. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.038>
- Scott J. Callan, J. M. T. (2001). Economies of Scale and scope: A Cost Analysis of Municipal Solid Waste Services. *Land Economics*, 77(4), 548-560. Retrieved from <http://le.uwpress.org/content/77/4/548.full.pdf>
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. <https://doi.org/10.1006/jjeem.1994.1031>
- Shmelev, S. E., & Powell, J. R. (2006). Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems. *Ecological Economics*, 59, 115-130. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.09.030>
- Smith, V. L. (1972). Dynamics of waste accumulation: disposal versus recycling. *The Quarterly Journal of Economics*, 86(4), 600-616. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1882044>
- Soytas, U., & Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy Economics*, 25(1), 33-37. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00009-9)
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62, 482-489. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.07.009>
- Squalli, J. (2007). Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, 29(6), 1192-1205. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.10.001>
- Stern, D. I. (1993). Energy and economic growth in the USA. *Energy Economics*, 15(2), 137-150. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(93\)90033-N](https://doi.org/10.1016/0140-9883(93)90033-N)
- Stern, D. I. (2003). The Environmental Kuznets Curve. *International Society for Ecological*

- Economics Internet Encyclopaedia of Ecological*, 11.
<https://doi.org/10.1080/1350485042000207216>
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, USA. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- Ucan, O., Aricioglu, E., & Yucel, F. (2014). Energy Consumption and Economic Growth Nexus: Evidence from Developed Countries in Europe. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(3), 411-419. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.115>
- Walls, M. (2003). How Local Governments Structure Contracts with Private Firms : on Solid Waste and Recycling Contracts How Local Governments Structure Contracts with Private Firms : Economic Theory and Evidence on Solid Waste and Recycling Contracts. *Public Works Management & Policy*, 9(3), 206-222.
- Wang, S. S., Zhou, D. Q., Zhou, P., & Wang, Q. W. (2011). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870-4875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.032>
- Warr, B. S., & Ayres, R. U. (2010). Evidence of causality between the quantity and quality of energy consumption and economic growth. *Energy*, 35(4), 1688-1693. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.017>
- Yu, E. S. H., & Jin, J. C. (1992). Cointegration tests of energy consumption, income, and employment. *Resources and Energy*, 14(3), 259-266. [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(92\)90010-E](https://doi.org/10.1016/0165-0572(92)90010-E)
- Zhang, X.-P., & Cheng, X.-M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2706-2712. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.05.011>

Capítulo 3

Ensaio 1 - Emissões de dióxido de carbono, consumo de energias e crescimento económico: evidência com base num painel de países da América do Sul

3.1. Introdução

Um grande número de pesquisas empíricas recentes tem focado atenção na relação entre determinados indicadores ambientais, energéticos e outros de índole mais macroeconómica. A abordagem do nexo “energia-crescimento-tecnologia-meio ambiente” tem sido testada por vários investigadores em várias regiões do mundo devido ao facto de as emissões de poluentes que causam efeito estufa ter aumentado a preocupação internacional sobre o aquecimento global. E isso, tem motivado o debate de temas como a inter-relação (consumo de energia, crescimento económico e emissões de poluentes) no meio ambiente, exercendo uma pressão simultânea sobre as condições económicas e ambientais. Questões envolvendo a economia e o meio ambiente têm revelado quão grande é o desafio da mitigação das emissões antropogénicas em todo o mundo (Jalil e Mahmud, 2009; IPCC, 2007).

As primeiras tentativas de se conseguir um amplo acordo mundial com o objetivo de mitigar os impactos da mudança climática tiveram início com a conferência internacional sobre meio ambiente e desenvolvimento promovido pelas Nações Unidas no Rio de Janeiro em 1992. Esse encontro abriu caminho para mais tarde em 1997 durante a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima (UNFCCC) fosse criado o protocolo de Quioto no Japão. Ao todo, 184 nações ratificaram o tratado para travar o aquecimento global e estabilizar as emissões de GEE naquele momento. Houve uma divisão das nações participantes do encontro em dois grupos, de acordo com o estágio de industrialização e cada grupo com distintas obrigações em relação ao protocolo firmado. Os países Anexo I (reuniu nações desenvolvidas), e os países Não Anexo I (reuniu grupo dos países em desenvolvimento). As metas obrigatórias firmadas eram de reduzir 5% das emissões de gás de efeito estufa aos níveis de 1990 entre 2008 e 2012. Foi nesse contexto, que se desenvolveu o principal debate sobre a economia e o meio ambiente nos vários estudos que fazem a ligação entre crescimento económico, consumo de energia e degradação ambiental em várias regiões do mundo (Ozcan, 2013;

Hamit-Haggar, 2012; Arouri et al., 2012; Jaunky, 2011; Saboori e Soleymani, 2011; Acaravci e Ozturk, 2010; Pao e Tsai, 2010; Halicioglu, 2009; Ang, 2007).

No entanto, a maioria dos estudos empíricos sobre a América do Sul analisam apenas o relacionamento entre o crescimento económico e o consumo de energia (Zilio e Recalde, 2011; Huang et al., 2008; Mehrara, 2007; Lee, 2005; Soytaş e Sari, 2003; Cheng, 1997). Recentemente, existem outros dois estudos sobre a América do Sul, cujas análises relacionam o consumo de energia, o crescimento económico e as emissões de CO₂ e que se devem a Al-Mulali et al. (2013) e a Apergis e Payne (2010). Contudo, estes estudos apesar de se basearem numa abordagem de dados em painel com um quadro multivariado, a componente que diz respeito aos modelos dinâmicos na presença de dependência cruzada ou seccional (*cross-section dependence*, CSD) no conjunto de dados é ignorada. Se este importante fator for erroneamente ignorado, os resultados podem levar a distorção das análises devido à sua interpretação conter ruído (*noise*). Essa questão é muito relevante do ponto de vista empírico devido à utilização de estimadores menos eficientes, o que pode afetar o poder explicativo do modelo e os seus coeficientes e variáveis por falta de robustez do modelo devido a não conseguir fornecer resultados mais precisos sem os distorcer e distorcer as conclusões.

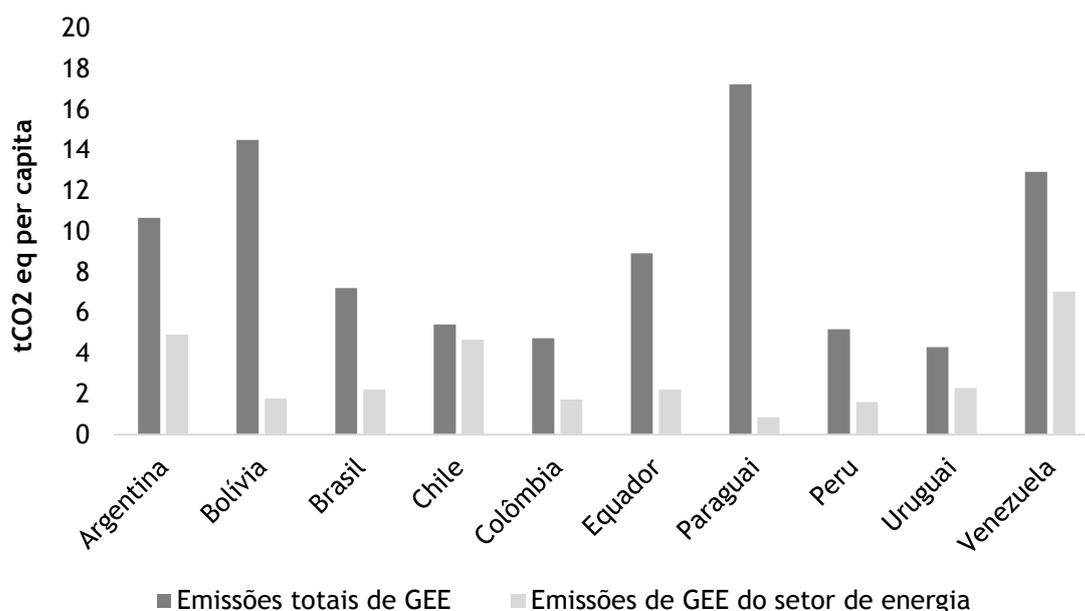
A cautela com este procedimento econométrico deve-se a três razões: (i) devido ao partilhamento de choques ou influências comuns em que as séries do modelo possam estar relacionadas, por exemplo, implicações de decisões políticas anteriores que podem influenciar o comportamento das séries no momento presente. Os fatores que causam este tipo de relação são conhecidos pelo termo “memória longa” das variáveis (Fuinhas et al., 2015); além disso, a história latino-americana relata a persistência de antigos problemas estruturais dos países sul-americanos como obstáculos ao desenvolvimento da região; (ii) devido aos choques provocados pelas crises do petróleo de 1973 e 1979 sobre as economias da região, a maioria sob regimes centralizados, apresentarem diferentes impactos económicos; (iii) pelo facto das políticas económicas das duas maiores economias da região (Brasil e Argentina) terem sofrido impactos macroeconómicos mal sucedidos que afetaram o comércio e a alocação de investimento em toda a América do Sul (Baer et al., 2002).

Alia-se a essas razões o objetivo de reforçar o comércio e de estreitar as relações dos países da América do Sul onde países como o Brasil, a Argentina, o Uruguai e o Paraguai contribuíram significativamente para alteração do quadro político e económico da região no passado recente ao assinar o Tratado de Assunção que conduziu à integração comercial de que resultou a criação do Mercosul, e que mais tarde teria a adesão dos demais países sul-americanos⁴.

⁴ Atualmente participam do bloco económico, os membros permanentes: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai (desde 1991) e a Venezuela (desde 2012); os membros associados: Chile (desde 2003), Colômbia e Equador (desde 2004),

Dados disponíveis de 2011 fazem um paralelo entre as emissões de GEE totais e as emissões de GEE do setor da energia de alguns países da América do Sul de acordo com a Figura 1.

Figura 1. Emissões de GEE na América do Sul em 2011



Fonte: ECLAC (2014).

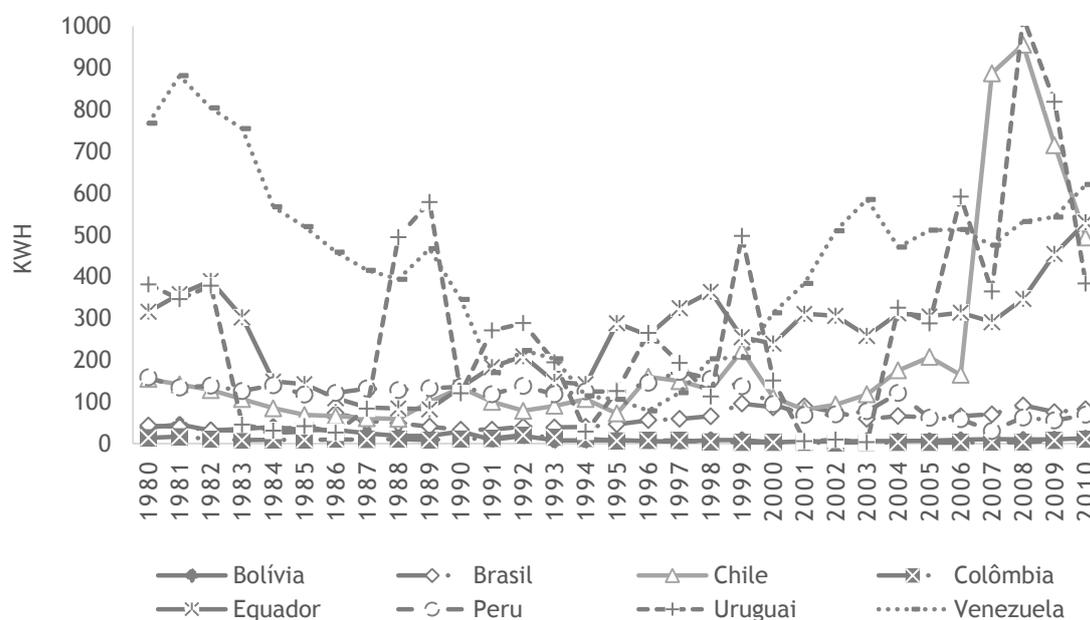
Em 2011 as emissões de GEE totais e as emissões de GEE do setor da energia dos países sulamericanos na Figura 1, distribuíam-se da seguinte forma: A Venezuela emitiu 12,92 toneladas de CO2 equivalente (tCO2 eq) destes 7,04 tCO2 eq foram provenientes do setor de energia; Argentina emitiu 10,67 tCO2 eq, das quais 4,92 tCO2 eq foram do setor de energia; Chile 5,42 tCO2 eq, sendo 4,66 tCO2 eq do setor de energia; Uruguai 4,30 tCO2 eq, e 2,29 tCO2 eq somente do setor de energia; Equador 8,92 tCO2 eq, sendo 2,22 tCO2 eq do setor de energia; Brasil 7,21 tCO2 eq, onde 2,22 tCO2 eq foram do setor de energia; Bolívia 14,50 tCO2 eq e 1,78 tCO2 eq do setor de energia; Colômbia 4,74 tCO2 eq, e 1,73 tCO2 eq do setor de energia; Peru 5,19 tCO2 eq, e 1,60 tCO2 eq do setor de energia; e por fim o Paraguai emitiu 17,23 tCO2 eq, sendo 0,85 tCO2 eq do setor de energia (ECLAC, 2014).

Históricamente, as atividades que mais têm contribuído para as emissões de poluentes estão ligadas ao consumo de energias (atividades industriais, eletricidade, calefação, transporte e

Guiana e Suriname, ambos (desde 2013); e em fase de adesão: a Bolívia (desde 2012) (MERCOSUL, 2015; Baer et al., 2002).

construção) com cerca de 42% das emissões; ao todo o setor de energia através dessas atividades respondeu por 75% das emissões de poluentes totais de toda a América Latina dos quais cerca de 4 gigatoneladas de CO₂ equivalente (GtCO₂ eq), o que globalmente tornou a América Latina no quarto maior continente emissor de poluentes em 2011 (ECLAC, 2014). Apesar das condições diversas e divergentes dos países latino americanos, alguns países têm demonstrado um desempenho económico bastante dinâmico através das exportações, principalmente de recursos renováveis e não renováveis (ECLAC, 2014). Inclusive, países como a Argentina, Colombia, Equador, Suriname e Venezuela, figuram no cenário internacional como países exportadores de energia fóssil no mundo (Behmiri e Manso, 2014). A Figura 2 demonstra a evolução da geração de eletricidade de origem fóssil para oito países da América do Sul entre o período 1980 e 2010.

Figura 2. Produção de energia elétrica de origem fóssil na América do Sul (1980-2010)

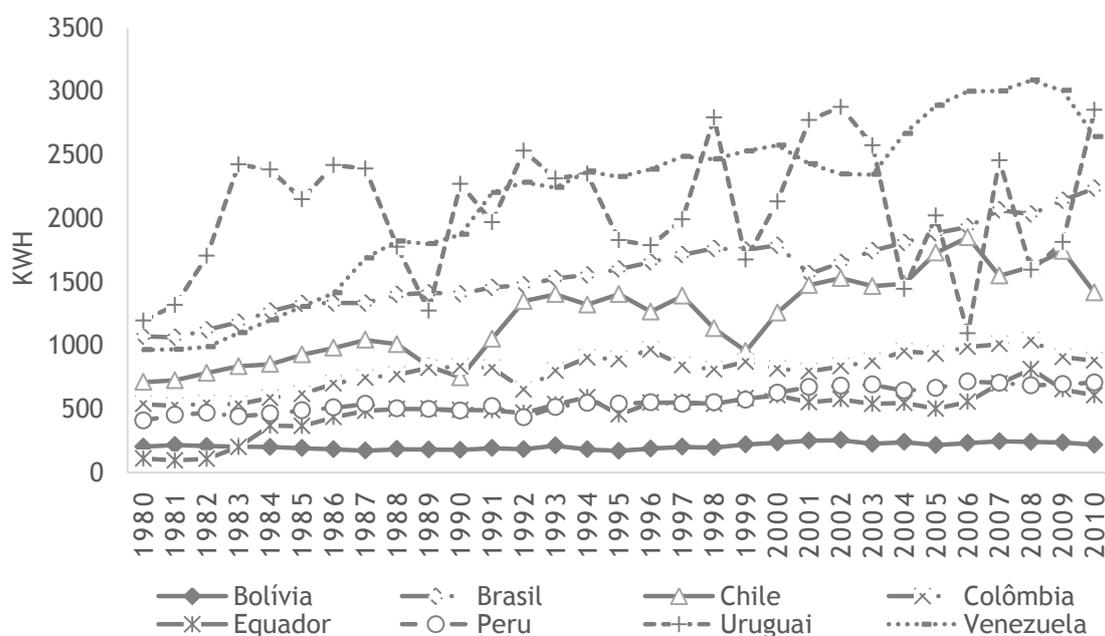


Fonte: WDI (2014).

Além disso, o Brasil possui a segunda maior reserva provada de petróleo da região e é o maior produtor e exportador de biocombustível (etanol) do mundo, somando ainda a produção de energia elétrica fornecida pela usina binacional/central hidro-elétrica de Itaipu, uma das maiores centrais geradoras de eletricidade do mundo mantida em consórcio com o Paraguai (Apergis e Payne, 2010). Comparativamente na América Central, por exemplo, tem-se observado um aumento considerável do consumo de diesel para alimentar as usinas geradoras ou produtoras de eletricidade, o que tem contribuído para as emissões de poluentes (Apergis e Payne, 2009).

Em contraste, outro aspecto relevante é o cenário global atual no que diz respeito à geração e consumo de eletricidade, em que as energias renováveis se tornaram na fonte energética de maior potencial de crescimento real em todo o mundo - a quota de energia renovável responde já por 22% da eletricidade gerada em todo o planeta, com destaque para a gerada por fontes não hidroelétricas que superou pela primeira vez na história a geração de eletricidade a partir de fontes fósseis (IEA, 2015). O cenário atual na América do Sul tem demonstrado que a produção de eletricidade com origem no *mix* ou conjunto das energias renováveis (Figura 3) é neste momento superior à produção de eletricidade baseada em fontes fósseis. No entanto, a contribuição de ambas as fontes de produção de energia elétrica para as emissões de poluentes varia significativamente, com destaque para as emissões provenientes da queima de combustível fóssil que contribuem de forma mais significativa para as emissões de GEE do ciclo de vida de produção de eletricidade (Weisser, 2007).

Figura 3. Produção de energia elétrica de fonte renovável na América do Sul (1980-2010)



Fonte: WDI (2014)

Nesse sentido, as implicações do consumo de energia elétrica para a emissão de poluição decorrente do elevado consumo de eletricidade revelam-se de grande interesse em termos de investigação. Dadas essas razões foi usada como fator ou variável para apreciar a qualidade ambiental a emissão de dióxido de carbono por ser considerada um dos principais responsáveis por problemas relacionados com os resíduos atmosféricos resultantes das atividades humanas e económicas, por estar intimamente ligada às alterações climáticas e por chegar a representar 78% das emissões de GEE globais (IPCC, 2014; Ghosh, 2010).

Este estudo (ensaio) limita-se aos países da América do Sul devido ao facto de o debate sobre o consumo de energia, crescimento económico e degradação ambiental ser referido na literatura como muito importante no contexto das economias em desenvolvimento, como é o caso dos países deste sub-continente, e ainda porque a região possui grandes riquezas naturais com uma variedade de recursos como agricultura, fontes de energias e outras commodities favoráveis ao crescimento das exportações (Apergis e Payne, 2010).

Em termos metodológicos partiu-se da formulação e estimação de um modelo auto regressivo com *lags* distribuídos (ARDL) com a inclusão de um mecanismo de correção de erro não restringido (*unrestricted error correction mechanism*, UECM). Esta metodologia parece ser a mais acertada pois garante a obtenção de estimadores robustos para os parâmetros deste modelo. Previamente, recorreu-se ainda a um teste de cointegração com *bootstrapping* para dados de painel desenvolvido por Westerlund e Edgerton (Westerlund e Edgerton, 2007).

Além disso, a abordagem multivariada ARDL apresenta a grande vantagem de não necessitar que as variáveis sejam estacionárias como acontece em diversas outras metodologias alternativas bem como, estes modelos admitirem um maior número de defasamentos (*lags*) repartidos por diferentes variáveis e apresentarem-se ainda mais flexíveis no que diz respeito à utilização dos dados (Ghosh, 2010; Fuinhas e Marques, 2012).

O restante do capítulo é organizado da seguinte forma. Na seção 3.2, apresenta-se a revisão de literatura. Na seção 3.3, é demonstrada a metodologia e os resultados empíricos. Na seção 3.4, faz-se a discussão dos resultados. Na seção 3.5, conclui-se.

3.2. Revisão de literatura

Vários estudos têm examinado a relação entre economia e meio ambiente. A maioria tem produzido resultados diferentes, consoante o tipo de amostragem, a amplitude do intervalo de tempo considerado, o tipo de variáveis consideradas e a metodologia aplicada (Al-Mulali et al., 2013; Ozcan, 2013; Soytaş e Sari, 2009; Apergis e Payne, 2009; Ang, 2007; Soytaş et al., 2007). Dentre as metodologias disponíveis para investigar essas relações, a abordagem ARDL, embora tenha sido introduzida por Pesaran e Shin (1999) e alargada por Pesaran et al. (2001) dois anos depois, apenas recentemente passou a ser empregue com maior intensidade impulsionada pela necessidade de dar resposta às deficiências das outras metodologias usadas e citadas pela literatura (Saboori e Sulaiman, 2013; Ghosh, 2010).

Além das vantagens já mencionadas os modelos ARDL são robustos na presença de choques ou alterações de circunstâncias relacionadas com as políticas e permitem chegar a conclusões relativas à cointegração das variáveis (Fuinhas e Marques, 2012). Como por exemplo, Sari e Soytaş (2009), que num estudo recente levado a cabo com base em cinco economias da OPEP, examinaram com a abordagem ARDL a possibilidade das emissões de poluentes conduzirem ao aquecimento global no período compreendido entre 1971-2002 tendo os resultados fornecido evidência empírica de cointegração apenas para um país; o estudo recomenda ainda aos demais países analisados que não sacrifiquem o crescimento económico apenas em função da redução das emissões de dióxido de carbono.

Em outro estudo, também com uma estrutura ARDL, Halicioğlu (2009) provou a existência de uma relação de causalidade bidirecional de curto e longo prazo entre as emissões de dióxido de carbono e o rendimento para a Turquia. Por sua vez, Saboori e Sulaiman (2013), usando séries temporais e também modelação ARDL, estudaram o relacionamento das economias asiáticas do sudeste e identificaram relações de cointegração para todos os países do painel, elasticidades do consumo de energia no longo prazo mais altas do que as de curto prazo em relação às emissões de carbono, e causalidade à Granger bidirecional entre as duas variáveis em estudo. Também Jalil e Mahmud (2009), recorrendo ainda aos mesmos modelos ARDL e a séries temporais, analisaram a ligação entre poluição ambiental, rendimento e produção/output na China, tendo concluído que o rendimento é a principal causa determinante das emissões de poluentes, logo seguida pelo consumo de energia no longo prazo e que havia causalidade unidirecional no sentido crescimento económico para as emissões de CO₂.

De referir que entre os estudos descritos anteriormente e que examinam a relação entre a economia e o meio ambiente, independentemente da metodologia utilizada, a maioria dos

autores que trabalham com dados de painel utilizam testes de raiz unitária de primeira geração e os testes de cointegração (Ozcan, 2013). Entre os testes mais usuais, estão os testes de raiz unitária desenvolvidos por Levin et al. (2002), por Im et al., (2003), por Breitung (2000), e por Pedroni (1999, 2004). Este último, devido a Pedroni (2004), verifica a hipótese de não cointegração baseados em estatísticas especiais designadamente, Painel V, Painel ρ , painel PP (Phillips-Perron), e Painel ADF - *Augmented Dickey-Fuller* (Apergis e Payne, 2009).

Estas estatísticas levam em conta fatores como o tempo e a heterogeneidade entre os países e os coeficientes autorregressivos dos diferentes países para realizarem os testes de raiz unitária aplicados aos resíduos obtidos a partir dos modelos estimados. Os testes de grupo baseiam-se na aproximação entre a dimensão incluindo as estatísticas do grupo ρ , do grupo PP, e do grupo ADF (Apergis e Payne, 2010), por exemplo, as médias dos coeficientes autorregressivos individuais associados aos testes de raízes unitárias dos resíduos para cada país do painel. No entanto, como esses sete testes têm como pressuposto a hipótese nula de independência transversal no termo de erro, essa condição é passível de ser violada (Jaunky, 2011). No sentido de conseguir fornecer evidência robusta a favor da cointegração, empregou-se o teste de cointegração de Westerlund (Westerlund, 2007) com *Bootstrapping*, um teste que permite controlar essa questão da dependência transversal. Há quatro estudos que utilizam o teste de cointegração de *Westerlund* para dados de painel que são os de Ozcan (2013), Arouri et al., (2012), Hamit-Haggar (2012) e Jaunky (2011).

Embora seja complexo estudar as relações entre causalidade e cointegração, a sua realização pode ajudar a confirmar se existe ou não causalidade a partir da relação entre as variáveis (Engle e Granger, 1987). Contudo, entre os resultados dos estudos publicados sobre o relacionamento consumo de energia, PIB e poluição ambiental não tem sido possível gerar consenso, como é bem demonstrado por Al-Mulali et al. (2013) e por Apergis e Payne (2009) para a América Latina e por Saboori e Sulaiman (2013), por Ozcan (2013), por Halicioglu (2009) e por Sari e Soytas (2009) para outras regiões do mundo. Pelos motivos aduzidos, considera-se ser adequado adotar a abordagem ARDL com mecanismo de correção do erro não restrito (UECM) para investigar as relações entre o consumo de energia, crescimento económico e emissões de dióxido de carbono para o painel de países da América do Sul selecionado.

Nesse sentido, e de acordo com a metodologia utilizada por Fuinhas et al. (2015), ao invés de utilizar apenas os testes de primeira geração na presença de dependência seccional (CSD), realizam-se quer os testes de raiz unitária de primeira quer os de segunda geração, como forma de identificar possíveis ruídos que possam afetar a leitura dos resultados das estimações; depois usa-se o modelo ARDL independentemente de as variáveis serem $I(0)$, $I(1)$, ou mesmo cointegradas; e seguindo Mehrara (2007), utiliza-se o mecanismo de correção de

erro (*error correction mechanism*, ECM) para confirmar a causalidade entre as variáveis de forma robusta, cuja interpretação e significância equivale à causalidade de Granger.

3.3. Dados e metodologia

Este estudo recorre a uma abordagem com dados em painel para investigar a dependência da poluição (emissão de dióxido de carbono) em relação ao consumo de eletricidade de origem fóssil e de origem renovável utilizando como variável de enquadramento uma variável macroeconómica - o crescimento económico (medido pelo PIB per capita), e ainda uma *proxy* determinística (T). A amostra é constituída por um painel de oito países da América do Sul, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Peru, Uruguai e Venezuela; os demais países (Argentina, Guiana, Paraguai e Suriname) não foram incluídos por apresentarem descontinuidade de informações ao longo do período analisado. Os dados compreendem o período 1980-2010 e foram extraídos a partir dos Indicadores de Desenvolvimento Mundiais (WDI⁵-*World Development Indicators*) do Banco Mundial.

Especificamente, o painel contém dados com informações estatísticas sobre os países da América do Sul selecionados que incluem as seguintes variáveis: Poluição por Emissão de dióxido de carbono (PCO2) - mensurada em toneladas métricas; Eletricidade de origem fóssil (OilElectr) - mensurada em Kwh; Eletricidade de origem renovável (RElectr) - mensurada em Kwh (hidráulica, biocombustíveis, biomassa, solar, eólica e resíduos); Produto Interno Bruto (PIB) - mensurado em dólares dos EUA em valores constantes de 2005; Trend (T) - uma *proxy* determinística habitualmente usada para capturar as especificidades referentes à eficiência tecnológica e fatores exógenos. Todas as séries estão expressas em valores per capita e foram convertidas em logaritmos naturais conforme é regra na literatura para reduzir a variabilidade dos dados e daí a heterocedasticidade dos erros dos modelos estimados.

É expectável que os países sul-americanos apresentem especificidades próprias e, como corolário, que as variáveis revelem efeitos dinâmicos. Assim, neste estudo, seguindo a mesma metodologia utilizada em Fuinhas et al. (2015) começamos por considerar o modelo geral com a especificação dada por (3.1).

$$\begin{aligned}
 LPCO2_{it} = & \alpha_{it} + \delta_{it}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{11ij}LPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{12ij}LOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{13ij}LRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{14ij}LYpc_{it-j} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

⁵ Os “*World Development Indicators - WDI*” do Banco Mundial estão disponíveis em <http://databank.worldbank.org>

onde as variáveis seguem as notações anteriormente apresentadas. Note-se que ao considerar os efeitos dinâmicos, o termo de erro UECM do modelo se incumbe de realizar a decomposição dos efeitos totais nas suas componentes e de fazer os ajustamentos necessários no curto e no longo prazo de forma a revelar as estimativas desejadas com consistência e eficiência (Fuinhas et al., 2015).

A equação (3.1) é parametrizada na forma geral com a inclusão do UECM e tomando as variáveis do modelo quer na forma logaritmizada (logaritmo natural (L)) quer em primeiras diferenças (D). Estes coeficientes acabam por ser as elasticidades e *semi-elasticidades* do modelo, respectivamente. A equação (3.2) apresenta a decomposição de tais relações dinâmicas das variáveis no curto e no longo prazos acabadas de referir:

$$\begin{aligned}
 DLPCO2_{it} = & \alpha_{2i} + \delta_{2i}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{21ij}DLPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{22ij}DLOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{23ij}DLRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{24ij}DLYpc_{it-j} + \gamma_{2li}LPCO2_{it-1} + \\
 & + \gamma_{22i}LOilElectr_{it-1} + \gamma_{23i}LRElectr_{it-1} + \gamma_{24i}LYpc_{it-1} + \varepsilon_{2it},
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

onde α_{2i} denota o intercepto/interseção para cada país $i(i=1,2,\dots,8)$, δ_{2i} , β_{2lij} , $k=1,\dots,m$, e γ_{2im} , os coeficientes dos parâmetros, e ε_{2it} o termo de erro. Só se exclui qualquer variável eventualmente não significativa em termos estatísticos se não alterar os resultados globais de outras variáveis. Por conseguinte, dado que este estudo é baseado numa estrutura multivariada, torna-se necessário prestar atenção a cada uma das etapas do processo. Assim, o estudo começa por apreciar a dependência seccional, seguida pelo exame de raiz unitária de cada variável após o que passa aos procedimentos para testar a cointegração.

Devido os dados serem em painéis os melhores modelos para lidar com este tipo de situação são os modelos de efeitos fixos (*FE-fixed effects*) e o modelo de efeitos aleatórios (*RE-random effects*). O teste de *Hausman* ajuda a decidir qual de entre ambos os modelos é o mais apropriado para enquadrar as análises e delinear os próximos passos. E finalmente, calculam-se as elasticidades de curto e de longo prazo com base na abordagem ARDL.

3.3.1. Teste de dependência seccional ou cruzada (CSD)

O teste da dependência seccional cruzada ou CSD é baseado em Pesaran (2004) que no seu cálculo considera a soma dos coeficientes de correlação entre os quadrados dos resíduos da seção transversal obtidos a partir de uma regressão *Augmented Dickey-Fuller* padrão para cada país; sendo a hipótese nula (H_0) verdadeira admite-se que há independência seccional ou transversal, neste caso os países. Antes de apresentarmos os resultados do teste CSD deixa-se um breve resumo estatístico dos dados na Tabela 1 e depois apresentam-se na Tabela 2 os já citados resultados do teste da dependência cross-seccional (CSD).

Tabela 1. Resumo estatístico dos dados das quatro variáveis

Variáveis	Média	Max.	Min.	Dsv. P.	Média	Max.	Min.	Dsv. P.
Em nível				Em primeiras diferenças				
LPCO2	0.637	2.031	-0.493	0.571	0.009	0.493	-0.594	0.109
LOilElectr	-12.420	-8.095	-16.709	2.031	-0.170	0.458	-3.277	0.578
LRElectr	-9.949	-7.053	-11.670	1.211	0.008	0.806	-0.615	0.152
LYpc	8.071	9.060	6.684	0.571	0.011	0.150	-0.152	0.441

Nota: As variáveis apresentadas encontram-se na forma logaritimizada (logaritmo natural (L) e na forma em primeiras diferenças (DL).

Tabela 2. Resultados do teste de dependência seccional, países América do Sul, 1980-2010.

Em nível				Em primeiras diferenças		
Variável	CSD-test	corr	Abs(corr)	CSD-test	corr	Abs(corr)
LPCO2	6.47***	0.220	0.442	0.65	0.022	0.151
LOilElectr	2.48***	0.084	0.282	1.34	0.046	0.128
LRElectr	0.72	0.024	0.363	0.77	0.027	0.176
LYpc	19.10***	0.648	0.649	12.04***	0.415	0.415

Nota: O Teste CD usa a distribuição $N(0,1)$, sob a hipótese H_0 : *cross-section Independence*; ***, ** e * denotam os níveis de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente. Os resultados de CSD foram obtidos com o comando *xtcd* do programa *stata*.

Os resultados do teste CSD revelam no caso das variáveis em níveis LPCO2, LOilElectr e LYpc e da variável em primeiras diferenças LYpc levam à rejeição da hipótese nula (H_0) do teste CSD. Ou seja, constata-se a presença de dependência seccional (CSD) sugerindo esse facto, de alguma forma, influências entre as variáveis em função de partilhamentos/repartição de choques comuns, o que é relevante para o resultado global do estudo. Uma inspeção mais detalhada permite dizer que as emissões de dióxido de carbono têm um comportamento identico para todos os países e que quando são tomadas as primeiras diferenças, o

comportamento passa a apresentar assimetria em relação ao resultado anterior. Isso pode estar relacionado com possíveis medidas políticas diferenciadas adotadas individualmente por cada país em relação ao combate das emissões de poluentes ou até mesmo alguma prioridade dada para a utilização dos recursos energéticos, como por exemplo, os combustíveis fósseis ou renováveis.

A produção de eletricidade a partir de fontes não renováveis também apresenta um comportamento comum. Uma explicação plausível é que os preços do petróleo são comuns a todos os países no mundo, e por isso, faz sentido que os países sul-americanos sofram os mesmos choques. O PIB per capita dos países responde positivamente às variações das emissões de dióxido de carbono no tempo e está de acordo com a teoria económica já que se apresentam relativamente integrados. Ou seja, no caso, dos países da América do Sul integrados no painel quando estes países estão tendencialmente orientados para o crescimento, este fator é relativamente comum a todos os países, ou quando a magnitude é muito grande ela é muito similar para todos os países ao mesmo tempo, e o contrário também é verdade, sendo isso que faz produzir a CSD.

Os efeitos comuns do PIB parecem normais, primeiro pelo fato da América do Sul estar integrada na economia global. Depois porque há uma grande produção de matéria-prima que é fornecida à economia mundial, como por exemplo, a produção de petróleo e, as *commodities*/matérias-primas ou bens minerais e agrícolas. Toda essa abundância de recursos, reflete em princípio a procura de crescimento económico por parte de todos os países do mundo, os principais importadores desses recursos naturais produzidos nos países sul-americanos (Apergis e Payne, 2010).

3.3.2. Raízes unitárias

Os testes de raízes unitárias para dados de painel giram em torno de um tipo da raiz derivada de um teste ADF clássico com a condição de não estacionaridades das séries (Dickey e Fuller, 1979). A literatura distingue dois tipos de testes para raízes unitárias em dados de painel: os chamados testes de primeira geração (de Maddala e Wu (1999), de Levin et al. (2002) e de Im et al. (2003)) e os testes de segunda geração (Pesaran, 2007; Choi, 2006; Smith et al., 2004). A verificação detalhada de cada teste foi realizada através de uma bateria de testes estatísticos que incluem, em primeira fase, os de primeira geração, designadamente os testes LLC, Breitung, IPS, ADF e PP; realizados estes testes os resultados indicaram que quando as séries estão em níveis, as variáveis (ambiental (LPCO2) e a energética renovável (LRElectr)) com exceção do caso do teste de Breitung são estacionárias, enquanto, no caso das séries (eletricidade de origem fóssil (LOilElectr) e crescimento económico (LYpc)) os testes demonstraram serem inconclusivos. No entanto, quando as séries são testadas em primeiras

diferenças (dl's) todas elas demonstraram estacionaridade, o que significa que as variáveis são I(1), integradas de ordem 1 ou apresentam uma raiz unitária.

A desvantagem desses testes é que na presença de dependência seccional ou transversal os resultados dos diferentes testes para verificar as raízes unitárias refletem resultados díspares ao nível de painel (Jaunky, 2011) apontando em direção à admissão da hipótese alternativa, revelando que estes testes falham na presença de dependência transversal (Banerjee et al., 2004). Problemas como estes acabados de referir é referenciado na literatura por produzir dois tipos de dependência: uma primeira, espacial, em que se tem em conta a distância entre as secções e uma segunda que reflete a reação de cada secção aos choques externos (Anselin, 2001; Moscone e Tosetti, 2010), i.e, as diferentes reações dos países com fenómenos semelhantes, podem estar ligadas aos fatores comuns e não observados que simultaneamente impactam nas séries ao longo do tempo (Fuinhas et al., 2015).

Tabela 3. Testes de raízes unitárias de 1ª geração, países América do Sul, 1980-2010

	LPCO2	DLPCO2	LOilEletrc	DLOilElectr
Teste	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
Levin, Lin & Chu <i>t</i> (LLC)	-1.635***	-8.569***	0.930	-7.697***
Im, Pesaran e Shin <i>W-stat</i> (IPS)	-2.120***	-11.415***	2.069	-10.425***
ADF-Fisher <i>Chi-square</i>	30.733***	126.116***	10.989	110.687***
PP-Fisher <i>Chi square</i>	32.906***	303.971***	15.261	407.822***
Breitung	0.126	-6.822***	1.282	-8.372***
	LRElectr	DLRElectr	LYpc	DLYpc
Teste	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
Levin, Lin & Chu <i>t</i> (LLC)	-1.715**	-12.831***	-1.740**	-6.076***
Im, Pesaran e Shin <i>W-stat</i> (IPS)	-1.647**	-12.613***	-0.836	-6.299***
ADF-Fisher <i>Chi-square</i>	29.193**	139.781***	24.350*	65.353***
PP-Fisher <i>Chi square</i>	26.927**	215.347***	13.059	67.004***
Breitung	0.306	-5.767***	3.060	-7.019***

Nota: ***, ** e * denota valor significativo aos níveis de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente. As hipóteses nulas do teste de primeira geração tem um comprimento de 1 lag que foi decidido após uma inspeção visual das séries, e o Newey-West por seleção automática de largura de banda e do kernel Bartlett. O software EViews v9 foi usado para calcular LLC, IPS, ADF-Fisher, PP-Fisher e Breitung.

Assim, é conveniente analisar a dependência transversal e a heterogeneidade entre secções através de testes que não tenham baixa potência na estrutura do teste (Jaunky, 2011); neste caso, surge a necessidade de recorrer aos testes de segunda geração já que estes podem resolver este tipo de problemas quando se examina a relação entre o consumo de energia, o crescimento económico e a poluição (Arouri et al., 2012; Hamit-Haggar, 2012). Como se pode

observar, as variáveis do nosso quadro que tiveram a hipótese nula rejeitada pelo teste de primeira geração não é correta e isso ocorreu, porque na verdade metade das séries em análise sofre de dependência seccional (ver Tabela 1).

Quando as variáveis em primeiras diferenças são submetidas aos testes de segunda geração, estas têm um comportamento comum e indicam serem I(1), comprovando empiricamente que o teste de segunda geração consegue responder de uma forma robusta aos problemas apresentados pelas séries do modelo e que não foram detectados pela bateria de testes de raiz unitária de primeira geração, o que poderia levar a interpretações errôneas dos resultados.

Tabela 4. Testes de raízes unitárias - 2ª geração, países América do Sul, 1980-2010

Variável	CIPS (zt-bar)			
	sem trend		com trend	
	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
LPCO2	-0.704	-0.272***	0.137	-7.470***
LOilElectr	-0.517	-5.312***	0.866	-4.552***
LRElectr	-2.373***	-6.465***	-1.519*	-5.503***
LYpc	-0.078	-4.367***	-0.212	-3.427***

Nota: Pesaran (2007) Teste de raiz unitária (CIPS): O teste CIPS foi calculado com 2 lags e os resultados foram obtidos com o comando `multipurt` do Stata. As variáveis apresentadas encontram-se na forma logaritimizada (logaritimo natural (L) e na forma em primeiras diferenças (DL).

3.3.3. Matriz de correlações e estatística VIF

A questão da apreciação da multicolinearidade entre variáveis explicativas de um modelo é uma questão importante pois a sua presença pode pôr em causa a significância estatística e a interpretação dos coeficientes e até o sinal dos mesmos originando frequentemente interpretações erráticas dos resultados dos modelos usados em política económica e noutras áreas.

Existem vários testes para apreciar a questão da multicolinearidade, um dos mais importantes é sem dúvida o teste de inflação da variância VIF (de *variation inflation factors*). Este teste de multicolinearidade tem como referência padrão o valor 10 para a estatística VIF considerando-se habitualmente que um valor inferior a esse valor traduz um nível aceitável de colinearidade ou multicolinearidade e uma valor superior uma situação de multicolinearidade grave entre as variáveis explicativas de um modelo.

O teste das correlações entre cada duas variáveis é outro dos habitualmente utilizados considerando-se que existem sintomas de colinearidade quando o respectivo coeficiente de correlação vem, em módulo, superior a 0.95.

A tabela 5 apresenta os resultados do teste das correlações (matriz das correlações) e do teste VIF este associado às diferentes regressões auxiliares identificadas no quadro ou tabela infra.

Tabela 5. Testes VIF e das correlações para apreciar a Multicolinearidade, países da América do Sul, 1980-2010.

Matriz de correlação						
Em Nível	LPCO2	Trend	LOilElectr	LRElectr	LYpc	VIF
LPCO2	1					
Trend	0.190	1				1.07
LOilElectr	0.350	-0.087	1			2.04
LRElectr	0.285	0.038	0.704	1		2.17
LYpc	0.701	0.203	0.261	0.376	1	1.22
Média VIF						1.62
Em 1as Diferenças	DLPCO2	Trend	DLOilElectr	DLRElectr	DLYpc	VIF
DLPCO2	1					
Trend	0.131	1				1.11
DLOilElectr	0.375	0.113	1			1.56
DLRElectr	-0.388	-0.093	-0.581	1		1.55
DLYpc	0.260	0.302	0.114	0.041	1	1.13
Média VIF						1.34

Nota: Obtido com o comando stat VIF do stata.

A matriz das correlações apresentada demonstra que não há sintomas de colinearidade entre as variáveis do modelo tomadas duas a duas e a última coluna do quadro mostra que os valores dos coeficientes VIF dos modelos lineares cujas variáveis dependentes são as identificadas na primeira coluna, sendo que as variáveis independentes são as constantes das outras 5 colunas e obtiveram valores abaixo de 3 quer quando expressas em nível quer em primeiras diferenças (Tabela 5) e que os valores médios dos coeficientes (VIF médio) de 1.62 e 1.34 comprovam que a multicolinearidade não é um problema que origine implicações negativas ao estudo.

A presença individual dos efeitos - *fixed effects* (FE) dos choques comuns entre os países da América do Sul devem ser testadas contra os efeitos aleatórios - *random effects* (RE). Se o resultado do confronto entre as estimativas do modelo FE e do modelo RE determinar que o modelo RE é o preferido, em seguida este deve testar-se contra a regressão OLS agrupada.

Neste caso, para o modelo RE, o termo de erro assume a forma $\mu_i + \omega_{it}$, onde μ_i denota N-1 efeitos específicos do país, e ω_{it} são os erros independentes e igualmente distribuídos.

Introduzindo este erro na eq. (3.2) esta converte-se na eq. (3.3), alterando ε_{it} para $\mu_i + \omega_{it}$ conforme especificado em (3.3).

$$\begin{aligned}
 DLPCO2_{it} = & \alpha_{3i} + \delta_{3i}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{31ij}DLPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{32ij}DLOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{33ij}DLRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{34ij}DLYpc_{it-j} + \gamma_{31i}LPCO2_{it-1} + \\
 & + \gamma_{32i}LOilElectr_{it-1} + \gamma_{33i}LRElectr_{it-1} + \gamma_{34i}LYpc_{it-1} + \mu_i + \omega_{it},
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

onde α_{3i} denota o intercepto, δ_{3i} , β_{3kij} , $k= 1, \dots, m$, e γ_{3im} , os parâmetros a estimar, e $\mu_i + \omega_{it}$ o termo de erro.

O teste de Hausman onde a hipótese nula estipula que o modelo RE é a melhor escolha, foi usado para decidir entre ambos modelos. Com base no resultado da aplicação do teste de Hausman ($\chi^2 = 36,82$), ao rejeitar a hipótese nula dada a probabilidade do teste (*p-value*) de 0.0000, conclui-se que o modelo de efeitos fixos (FE) é o mais apropriado. Dessa forma, há evidência de correlação entre os países “efeitos individuais e as variáveis explicativas” e por isso, deve-se considerar a sua inclusão nas estimativas do painel. Outro fator importante é o facto do modelo FE poder ser usado para analisar a influência de séries que variam ao longo tempo, além do que o estimador FE consegue realizar a remoção de características invariantes do tempo da variável dependente permitindo que o efeito das variáveis explicativas possa ser avaliado (Fuinhas et al., 2015).

3.4. Resultados

Este ensaio analisa os efeitos da inter-relação entre poluição, consumo de eletricidade e crescimento económico para um conjunto de países da América do Sul. Os valores das variáveis (dados) foram calculados na forma per capita de um painel de países que embora considerados em vias de desenvolvimento são ricos em recursos naturais e estão em franco desenvolvimento. O painel abrange vários países com economias diversificadas em termos das suas produções de petróleo, de commodities/matérias-primas e bens minerais e agrícolas, entre outros, e isso garante, de certa forma, que nossa análise seja robusta. Existem vários testes para examinar as relações de cointegração entre variáveis que têm como referência um modelo que inclui o termo de correção de erro (ECM) e que exige que todas as variáveis em análise sejam $I(1)$, o que muitas vezes não acontece. O teste de Pedroni (Pedroni, 1999; 2004) que considera a heterogeneidade e a independência é um dos testes mais conhecido. Contudo, neste caso específico o referido teste não pode ser executado dada a presença de dependência seccional (CSD) em quatro das variáveis do modelo. Como a CSD não pode ser controlada, a estimação conduz a estimativas tendenciosas ou enviesadas (*biased*) e ao problema de identificação (Eberhardt e Presbitero, 2013).

Tendo em mente estas considerações decidiu-se utilizar a metodologia de Westerlund (2007), este autor desenvolveu quatro testes para dados em painel que permitem analisar a cointegração com base nas estatísticas por ele designadas como Gt, Ga, Pt e Pa, as duas primeiras analisadas sob a alternativa do painel ser cointegrado como um todo, e as duas últimas analisadas sob a alternativa de que existe pelo menos um indivíduo neste caso um país em que se verifica a cointegração (Jaunky, 2011).

Tabela 6. Resultados da estimação do modelo ARDL e Teste de Westerlund (2007)

Estatísticas	Value	z-value	p-value	p-value robust
Gt	-3.208	-1.637	0.051	0.036
Ga	-17.539	-0.709	0.239	0.009
Pt	-9.790	-2.999	0.001	0.026
Pa	-20.007	-2.912	0.002	0.004

Nota: Teste de cointegração Westerlund (2007) com hipótese nula (H_0) de não cointegração com 8 séries e 3 covariáveis; para controlar a dependência transversal, foram gerados valores robustos a partir de 800 simulações com regressão *bootstrapping*; os parâmetros Gt e Ga testam a cointegração de forma individual para cada país e Pt e Pa testam a cointegração com efeito de painel; os quatro testes foram obtidos a partir do comando *xtwest* do stata.

O teste em si poderia ser realizado se as secções cruzadas (*cross-section*) fossem independentes, uma vez que os ensaios têm por base estruturas dinâmicas e não resíduos. No

entanto, como foi detectada a presença desta dependência (CSD) o teste deve obrigatoriamente ser realizado através da técnica de simulação com os níveis de significância válidos obtidos por essas simulações, sendo que apenas quando o teste for executado com esta técnica é que tem a sua validade comprovada. Neste estudo a hipótese nula de não cointegração é testada através da inclusão no modelo de um termo de correção de erro condicional igual a zero, e se a hipótese nula de nenhum erro de correção for aceite, então a hipótese nula de não cointegração também pode ser aceite (Jaunky, 2011).

Face às especificidades expostas no quadro em que as variáveis revelam a presença de CSD o teste de cointegração foi realizado com 800 repetições e apresentou evidência empírica de cointegração das variáveis de cada país tomado isoladamente e entre as mesmas variáveis, mas usando os dados de painel como é revelado pelo nível de significância *p-value robust* (última coluna da Tabela 6).

Para examinar a heterogeneidade dos países dividiram-se as estimativas dos coeficientes dos modelos com coeficientes heterogéneos para analisar cada país individualmente e em painel (Sadorsky, 2014). Para isso, seguiram-se as três metodologias dinâmicas seguintes:

- (i) A *Mean Group* - MG o mais heterogéneo possível que estima as regressões a partir dos valores médios de cada uma das variáveis ao nível individual de cada país;
- (ii) A *Pooled Mean Group* - PMG que apresenta uma estrutura híbrida que integra a decomposição de curto e longo prazos e que ao fazer a decomposição estabiliza um lado da equação (longo-prazo) permitindo que apenas os componentes com as informações de curto prazo possam variar;
- (iii) o modelo *Fixed Effects* - FE que estima ao mesmo tempo o conjunto de valores dos parâmetros para o painel de países, limitando-se a verificar as diferenças ao nível das interseções do modelo.

Por fim, o mecanismo de correção dos erros (ECM) é calculado para examinar a velocidade do ajustamento com vista ao equilíbrio dos erros de todos os modelos estimados. Os resultados apresentados na Tabela 7 revelam que os valores das estimações são estatisticamente significativos, que o coeficiente da variável *trend* não revelou significância estatística pelo que o modelo foi reduzido. Foram confrontados os resultados das estimações dos modelos MG e PMG contra as do modelo FE dinâmico. A hipótese do teste é a de que o modelo MG é o mais adequado entre os modelos. Porém neste caso o modelo FE consegue estimar melhor os parâmetros o que é comprovado pela utilização do teste de *Hausman* que identificou o modelo FE como o mais adequado.

Um resultado importante resultante da aplicação desta metodologia diz respeito ao mecanismo de ajustamento do modelo que, aliás, demonstra que as estruturas funcionam bem de forma coletiva na América do Sul em termos globais, mas que pode demorar mais

tempo a conseguir-se esse ajustamento do que fosse considerado cada país individualmente. Isso chama à atenção para as especificidades de cada um desses países. Ou seja, as políticas públicas devem observar as estruturas energéticas renováveis nestes países como forma de mitigar as emissões de dióxido de carbono no âmbito da América do Sul, mas atendendo às considerações particulares de cada um. Ou no caso dessas políticas serem gizadas no âmbito do Mercosul devem conter cláusulas diferenciais para cada país devido suas especificidades individuais. Além disso, as medidas não devem ser totalmente rígidas, pois, podem necessitar de adaptações ao nível de algum país como forma de melhorar o resultado global da América do Sul.

Tabela 7. Estimativas dos modelos MG, PMG e FE e resultados do teste de *Hausman*

Modelos			
Variável dependente = PCO2			
Variáveis explicativas	MG (I)	PMG (II)	FE (III)
Trend	-	-	-
LOilElectr (-1)	0.0197	0.1438***	-0.0014
LRElectr (-1)	0.3199	-0.0309	-0.5267***
LYpc (-1)	0.5907**	0.3008***	0.9790***
ECM	-0.6536***	-0.2876***	-0.2665***
DLOilElectr	-0.0081	0.0142	0.0260**
DLRElectr	-0.2035	-0.2187***	-0.2463***
DLYpc	0.7014***	0.9039***	0.7032***
Constante	-4.3332*	-0.0945	-3.2082***
Teste Hausman	MG vs PMG	PMG vs FE	MG vs FE
χ^2_8	37.89	8.74	1.47
Prob > χ^2	0.0000	0.3646	0.9933

Nota: ***, ** e * denotam valores significativos aos n.s. de 1%, 5% e 10%, respectivamente; os valores de MG vs PMG, PMG vs FE e MG vs FE foram obtidos com a função do stata *hausman, sigmamore alleq constant*; ECM-Error correction Mechanism denota mecanismo de correção do erro.

Outro aspecto que merece ser comentado, é que todas essas ilações resultam da especificidade de cada país que refletido diretamente nos efeitos de painel, além de demonstrar ser necessário controlar a dependência transversal. Nesse sentido, para identificar possíveis violações das hipóteses subjacentes, e testar a significância dos parâmetros do estimador FE realizou-se uma bateria de testes, designadamente os testes de *Breusch-Pagan LM*, *Modified Wald*, e de *Wooldridge* para verificar se existem problemas de dependência transversal dos erros, heterocedasticidade dos resíduos e auto correlação serial de primeira ordem, pois, se fenómenos dessa natureza forem ignorados, os resultados das estimações dos modelos podem ser severamente afetados (Hoechle, 2007).

A hipótese nula (H_0) do teste *Breusch-Pagan LM* estipula que os resíduos entre as secções não são correlacionados ou são aleatórios; para a testar usa um teste do qui-quadrado. No caso do teste *Modified Wald-groupwise heteroskedasticity*, para verificar a heterocedasticidade dos erros do modelo de efeitos fixos a sua hipótese nula é, como é habitual nestes testes, a de que estes erros são homocedásticos, ou que têm a mesma variância, ou seja, que $\sigma_i^2 = \sigma^2$ para $i = 1, \dots, N$, com σ^2 sendo a variação do i -ésimo país; o teste usa uma distribuição do qui-quadrado (χ^2). Por sua vez a hipótese nula do teste de *Wooldridge*, também para apreciar a autocorrelação, estipula que não há nenhuma correlação em série entre os erros do modelo e para a testar usa-se uma distribuição F (Fuinhas et al., 2015). Os resultados dos testes de especificações estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Teste de especificação

Pesaran test	Woodridge test	Modified Wald test
n.a	F (1,13)=42.341***	$\chi^2_{14} = 348.04$ ***
Breusch-Pagan LM test	Bhargava et al. Durbin-Watson	Baltagi-Wu LBI
$\chi^2_{91} = 25.383$	2.155	2.190

Nota: ***, **, * denota valores significativos aos n.s. de 1%, 5% e 10%, respectivamente; n.a denota *not available*/não disponível.

Os resultados mostram que o teste BP LM ou *Breusch-Pagan LM test* não rejeita a hipótese nula (H_0) de não haver dependência *cross-sectional*. Os outros dois resultados da tabela 8 rejeitaram a hipótese nula - o teste de *Wald* modificado mostra evidência empírica de que o modelo tem heterocedasticidade. Já o resultado obtido para o teste de *Wooldridge* que faz a inspeção de correlação serial de primeira ordem nas séries anuais tendo por base um momento anterior atesta que os erros estão correlacionados. No sentido de aprofundar a questão da autocorrelação aplicaram-se ainda os testes de *Bhargava, Franzini and Narendranathan's Durbin-Watson (W-D)* e o de *Baltagi-Wu's LBI (Local Best Invariant)*, com ambos os valores das respectivas estatísticas, 2.155 e 2.190, respectivamente, a indicarem não haver problemas de autocorrelação entre os erros do modelo estimado.

Face ao contraste dos resultados dos testes de especificação deve-se ter maiores cuidados com a especificação do modelo, razão pela qual se optou por adotar o procedimento de estimação do modelo de efeito fixos (FE) com erros padrão proposto por Driscoll e Kraay (1998) para lidar com o problema simultâneo da heterocedasticidade e autocorrelação de primeira ordem e com vista à sua correção. Este estimador é robusto para corrigir ou calibrar o erro ou desvio padrão por uma matriz que gera erros padrão robustos para vários fenômenos que ocorrem nos erros amostrais; além disso, outra vantagem é que o estimador FE *robusto* controla o fenómeno da heterocedasticidade (Hoechle, 2007; Fuinhas et al., 2015).

A Tabela 9 apresenta os resultados da estimação do modelo FE *Driscoll-Kraay* (FE D-K) e os demais modelos OLS, FE e FE *robust*. O coeficiente da variável *trend* em geral não é estatisticamente significativo e apenas o coeficiente do modelo FE D-K demonstrou ser significativo ao nível de 10%. No curto prazo apenas a eletricidade de origem renovável reduz o nível de emissões de CO₂ ao nível de significância de 1%; por sua vez a eletricidade de origem fóssil e o PIB têm, neste horizonte temporal impactos positivos sobre as emissões de poluentes ao nível de significância de 10% e 1% respectivamente, o que revela a importância de medidas de políticas que favoreçam as energias renováveis em detrimento das fontes clássicas.

Tabela 9. Resultado da estimação

Modelos				
Variável dependente = PCO ₂				
Variáveis	OLS (IV)	FE (V)	FE Robust (VI)	FE D-K (VII)
Trend	0.0002	0.0013	0.0013	0.0013*
DLOilElectr	0.0330**	0.0260**	0.0260**	0.0260*
DLRElectr	-0.2082***	-0.2429***	-0.2429***	-0.2429***
DLYpc	0.6053***	0.6258***	0.6258*	0.6258***
LPCO ₂ (-1)	-0.0158	-0.2696***	-0.2696*	-0.2696***
LOilElectr (-1)	-	-	-	-
LRElectr (-1)	-0.0034	-0.1437***	-0.1437**	-0.1437***
LYpc (-1)	0.0098	0.2179***	0.2179*	0.2179***
Constante	-0.1031	-3.0e+00***	-3.0e+00**	-3.0e+00***
Estatísticas				
N	240	240	240	240
R ²	0.2517	0.3738	0.3738	
R ² _a	0.2291	0.3348	0.3549	
F	1.1e+01	1.9e+01	5.8e+02	2.2e+01

Nota: ***, ** e * denotam valores significativos aos n.s. de 1%, 5% e 10%, respectivamente; para a obtenção da tabela (7) foram utilizados os comandos *xtreg* e *xtsc* do programa Stata.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados das semi-elasticidades (curto-prazo) e as elasticidades (longo-prazo) dos modelos estimados. A elasticidade da energia fóssil defasada um período não foi estatisticamente significativa, e como tal foi excluída da estimação final. Os demais resultados revelaram que os níveis de poluição por emissões de dióxido de carbono do período (ano) anterior têm impacto negativo, bem como as elasticidades da energia elétrica renovável ao nível de significância de 1%. Este resultado demonstra a necessidade de continuar a criar medidas de estímulo à utilização deste tipo de energia. Por sua vez, o

crescimento económico anterior causa impacto positivo na poluição por emissão de dióxido de carbono.

No longo-prazo o crescimento económico contribui para o aumento da poluição na América do Sul, cada 1% a mais de crescimento do PIB produz um acréscimo de emissão de 0,8% de CO₂; e confirma-se a teoria económica em relação aonexo causal entre energia, crescimento e poluição; em contra partida, por cada 1% a mais de consumo de energia eléctrica renovável reduz a emissão de CO₂ em 0,53%; este valor em termos de substituição energética e considerando a tecnologia estática com um cenário conservador poderia ser usado para estimar a queda das emissões de CO₂ na América do Sul até 2050 ou 2100, uma vez, que a nova meta assumida pelos países no encontro de Paris é evitar que a temperatura aumente mais do que dois graus acima do nível pré-industrial (UNFCCC, 2015).

Tabela 10. Teste de diagnóstico

Modelos	OLS	FE	FER	FE D-K
Variável dependente = PCO2	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
Semi-elasticidades/ impactos de curto prazo				
Variáveis explicativas	coeficiente	coeficiente	coeficiente	Coeficiente
DLOilElectr	0.0330**	0.0260**	0.0260**	0.0260*
DLRElectr	-0.2082***	-0.2429***	-0.2429***	-0.2429***
DLYpc	0.6053***	0.6258***	0.6258*	0.6258***
Elasticidades/ impactos de longo prazo				
Variáveis explicativas	coeficiente	coeficiente	coeficiente	Coeficiente
LOilElectr	-	-	-	-
LRElectr	-0.2203	-0.5330***	-0.5330***	-0.5330***
LYpc	0.6214	0.8083***	0.8083***	0.8083***
Velocidade de ajustamento				
Variável	coeficiente	coeficiente	coeficiente	Coeficiente
<i>Error correction mechanism (ECM)</i>	0.0158	-0.2696***	-0.2696*	-0.2696***

Nota: ***, ** e * denota valores significativos aos n.s. de 1%, 5% e 10%, respectivamente; O ECM denota o coeficiente da variável PCO₂ com uma defasagem (lag=1). As elasticidades de longo prazo foram obtidas a partir da divisão do coeficiente da variável dependente com uma defasagem pelo coeficiente de cada variável explicativa com uma defasagem e multiplicado pelo rácio -1 (Fuinhas et., 2015).

Nesse sentido, as elasticidades (longo-prazo) das variáveis energia eléctrica renovável e crescimento económico ainda revelaram serem maiores do que as semi-elasticidades (curto prazo), demonstrando que o PIB dos países da América do Sul são tendencialmente afetados por uma melhoria em termos de substituição energética e eficiência. Isto é, essas economias estão a utilizar cada vez melhor as fontes energéticas disponíveis, pois, o consumo de eletricidade independente do tipo de fonte não está significando maior nível de emissão de poluição por CO₂ no período analisado.

Embora, o consumo de energia elétrica juntamente com a produção económica gere algum efeito positivo na emissão de CO₂, a estrutura energética renovável causa menor impacto negativo do que a estrutura energética que utiliza combustível fóssil. Este resultado corrobora os resultados de Al-Mulali et al. (2013) que recomendaram aos países sul-americanos o aumento das quotas de energias renováveis em relação ao consumo total como alternativa para melhorar o nível de eficiência energética em conjunto com a conservação de energia. Neste caso, a maior integração económica dos países sul-americanos, e o crescimento da economia global, tem provocado a elevação do nível de emissão de CO₂ em função da estrutura industrial instalada destes países e que consequentemente estão a responder acertadamente com as variáveis PIB e PCO₂.

No entanto, algo está impondo mudança nessa estrutura, o que é compatível com o resultado obtido pelo modelo estimado, pois, seria de esperar que a energia elétrica de origem convencional no curto prazo respondesse mais intensivamente à emissão de poluição. No entanto, o modelo apresentou redução do nível de significância dos coeficientes das semi-elasticidades, de 5% para 10% nos modelos estimados. Isso é tão verdade que no período analisado a energia elétrica fóssil no longo prazo não foi significativa.

Sobre o mecanismo de ajustamento do modelo como o UECM é flexível na adaptação das defasagens em função do modelo ARDL ter como presuposto a existência de uma situação que ocasiona o desequilíbrio do modelo em algum determinado momento. Neste caso, o sistema se encarrega de verificar se há ocorrência ou não de desequilíbrio no momento anterior. Dessa forma, o valor referente ao termo do erro, ECM, para este estudo é válido somente para as variáveis utilizadas e como o resultado empírico revelou que 27% do desequilíbrio é corrigido no período seguinte, o ECM demonstra claramente que o sistema não só atinge o equilíbrio com essas variáveis com os coeficientes significativos ao nível de 1%, mas, também fornece a noção de que existem outras variáveis que não estão presentes no modelo (pois, o sistema corrigiu os erros e as variáveis são cointegradas). Portanto, a diferença entre a estrutura corrigida e a que restou indica que pode existir outras informações que não estão presentes no modelo explicativo estudado.

3.5. Conclusão

Este trabalho visa estabelecer um quadro sólido para examinar a vinculação de certos indicadores económicos e ambientais e as tendências da produção agregada de energia elétrica dos países em desenvolvimento da América do Sul durante o período 1980-2010. O estudo forneceu novas evidências empíricas exploradas por um painel multivariado que permitiu várias análises perante o debate sobre o consumo de eletricidade, crescimento económico e as emissões de poluição como condicionantes dos processos de desenvolvimento dos países sul-americanos. Considera-se ainda o facto da região ser grande detentora de riquezas naturais que são exportadas para o resto do mundo como matérias-primas (*commodities*) e que favorecem o crescimento das exportações. Ressalva-se ainda que a força da análise geral deste trabalho está focada tanto para demonstrar a robustez do modelo, como especialmente, para avaliar os diversos fatores que correspondem aos principais *drivers* do desenvolvimento, quer pela inclusão de variáveis explicativas distinguidas pela separação das fontes de energias (fóssil e renovável) utilizadas pelas economias dos países analisados, quer pelo grau de produção dos efeitos e os impactos na degradação ambiental.

Assim, a hipótese desta vinculação foi testada e a sua robustez confirmada por uma série de técnicas econométricas, os resultados preliminares indicaram a presença de *cross-section dependence* apontando que os países partilham impactos comuns que influenciam as variáveis no painel. Para os países da América do Sul analisados existem sinais claros de que no curto prazo as emissões de dióxido de carbono sofrem forte impacto positivo do crescimento económico, seguido pela produção de energia elétrica fóssil; já no longo prazo, a energia elétrica originada no *mix* renovável revelou ter efeito e/ou impacto negativo sobre a emissão de poluição, enquanto, que o crescimento aumenta a emissão de poluição com um nível bastante elevado; a variável *trend* só foi significativa ao nível de 10% com o estimador FE Driscoll-Kraay; apesar dos coeficientes da energia elétrica fóssil no curto prazo terem indicado significância, o coeficiente de longo prazo não foi significativo; descobriu-se ainda através do mecanismo de ajustamento (ECM) que o modelo consegue ser corrigido em cerca de 27% no período seguinte.

São várias as implicações desses resultados para os países da América do Sul, em primeiro lugar, ao contrário da produção da eletricidade com origem em combustível fóssil como acontece em muitos países desenvolvidos, o maior percentual da produção de energia elétrica nos países sul-americanos está baseada na matriz energética renovável. Principalmente as energias hídricas, assim, como resultado da variação das emissões de CO₂ em simultâneo com o crescimento económico na decomposição de longo prazo, pode-se verificar que os países

sul-americanos têm experimentado as vantagens que as fontes energéticas disponíveis oferecem.

Outro fator relevante do resultado é que a produção de energia elétrica tem atendido os países de acordo com a capacidade instalada de cada um. Neste sentido, podem-se inferir algumas conclusões a partir da observação dos modelos estimados: (i) as emissões de CO₂ estão a ser impulsionadas pelo crescimento económico e são maiores do que as emissões da produção de energia elétrica de fonte fóssil. Notóriamente, o principal *driver* de crescimento económico desses países são as exportações de matéria-prima para atender à demanda global de recursos naturais. Por outro lado, a produção de energia elétrica renovável tem exercido impactos negativos nas emissões de CO₂ daí a vantagem da produção de energia elétrica renovável para mitigar as emissões de poluição; (ii) O sinal negativo apresentado pelo coeficiente da energia elétrica renovável consegue capturar o efeito final de dois importantes fatores, a “eficiência” e a “substituição”. Sendo que ambos os fatores são responsáveis pela redução do uso de fonte fóssil para produzir energia elétrica ou a introdução de novas tecnologias de produção que contribui para reduzir globalmente a quantidade de energia que causa poluição.

Neste caso, produz um efeito de substituição bastante significativo para gerar o sinal negativo. Comparativamente, quando se mede o crescimento económico, este indicador fornece uma elasticidade inferior a 1 (isso, significa que o modelo consegue capturar e medir a eficiência económica global do painel), ou seja, a cada unidade adicional de produto. Dessa forma, a cada aumento de 1% do produto não corresponde o aumento de 1% de CO₂ e isso, pode ser considerado como eficiência. Por outro lado, como este painel está a medir mais uma unidade adicional relativamente ao ponto médio, o resultado é um efeito substituição, porque o acréscimo de eletricidade renovável reduz as emissões de CO₂, apesar da energia elétrica intrinsecamente também produzir poluição.

Para que o efeito total da energia elétrica renovável (RElectr) seja negativo tem que haver redução de fonte elétrica profundamente geradora de poluição (eletricidade fóssil). Esta conclusão é tão verdade que o modelo apresentou insignificância do coeficiente da energia fóssil (OilElectr) no longo prazo, portanto, não fazia sentido mantê-la na equação de longo prazo pelo que se optou pela redução do modelo. Neste sentido, o papel desempenhado pela energia elétrica renovável neste conjunto de países pode ser considerado relevante do ponto de vista estratégico devido às tendências das políticas de mitigação das alterações climáticas em todo o mundo. Inclusive, a redução das emissões de CO₂ em 0,53% identificada no modelo e considerando a tecnologia estática com um cenário conservador pode ser usada para estimar a queda da emissão de poluição na América do Sul até 2020 ou 2100 de acordo com as novas diretrizes assumidas pelos países signatários da COP21 na implementação de políticas que mitiguem as alterações climáticas com a finalidade evitar o aumento de dois graus na temperatura acima do nível pré-industrial.

Embora a produção de eletricidade desse conjunto de países seja estruturalmente semelhante, as respostas que cada fonte de energia está a dar na produção energética - tanto (OilElectr) quanto (Relectr) não são iguais. Ou seja, os países não estão a implementar políticas de produção de eletricidade ao mesmo tempo, e da mesma maneira, estes países não tratam de forma idêntica as questões energéticas e ambientais, principalmente, quando relacionando a política voltada para as questões de energia renovável.

Dessa forma, para atender a cooperação entre as nações do Mercosul, conforme estabelecido no artigo 5 do Decreto nº 5.208 de 2004 relacionando as questões ambientais e a promoção do desenvolvimento sustentável, os decisores políticos devem levar em consideração a importância das especificidades de cada país no âmbito global do Mercosul aquando das decisões gerais sobre as diretrizes de políticas de mitigação das emissões de GEE do bloco económico. No geral, as políticas globais do Mercosul devem conter cláusulas diferenciais, além disso, essas políticas não devem ser totalmente rígidas, pois, podem necessitar de ajustamentos ao nível de alguns países de forma a melhorar o seu resultado global. Por fim, as políticas que contribuem para a criação e manutenção de mecanismo de promoção de condições de desenvolvimento sustentável e ambientalmente saudáveis possibilitam a melhoria da qualidade de vida e do bem estar social, bem como geração de emprego.

Referências

- Acaravci, A., & Ozturk, I. (2010). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420. doi:10.1016/j.energy.2010.07.009
- Al-Mulali, U., Lee, J. Y., Hakim Mohammed, A., & Sheau-Ting, L. (2013). Examining the link between energy consumption, carbon dioxide emission, and economic growth in Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 42-48. doi:10.1016/j.rser.2013.05.041
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772-4778. doi:10.1016/j.enpol.2007.03.032
- Anselin, L. (2001). Spatial econometrics. In: Baltagi B (ed) *A companion to theoretical econometrics* (Blackwell., pp. 310-330). Oxford.
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO2 emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286. doi:10.1016/j.enpol.2009.03.048
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 32(6), 1421-1426. doi:10.1016/j.eneco.2010.04.006
- Arouri, M. E. H., Ben Youssef, A., M'henni, H., & Rault, C. (2012). Energy consumption, economic growth and CO2 emissions in Middle East and North African countries. *Energy Policy*, 45, 342-349. doi:10.1016/j.enpol.2012.02.042
- Baer, W., Cavalcanti, T., & Silva, P. (2002). Economic integration without policy coordination: The case of Mercosur. *Emerging Markets Review*, 3(3), 269-291. doi:10.1016/S1566-0141(02)00025-0
- Banerjee, A., Marcellino, M., & Osbat, C. (2004). Some cautions on the use of panel methods for integrated series of macroeconomic data. *Econometrics Journal*, 7, 322-340. doi:10.1111/j.1368-423X.2004.00133.x
- Behmiri, N. B., & Pires Manso, J. R. (2014). The linkage between crude oil consumption and economic growth in Latin America: The panel framework investigations for multiple regions. *Energy*, 72, 233-241. doi:10.1016/j.energy.2014.05.028
- Breitung, J. (2000). The Local Power of Some Unit Root Tests for Panel Data. *Advances in Econometrics*, Vol. 15: Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels, 161-178.
- Cheng, B. S. (1997). Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: a time series analysis. *Applied Economics Letters*, 4(11), 671-674. doi:10.1080/758530646
- Choi, I. (2006). Combination unit root tests for cross-sectionally correlated panels. In In: Corbae, D., Durlauf, S., Hansen, B. (Eds.), *Econometric Theory and Practice: Frontiers of Analysis and Applied Research: Essays in Honor of Peter C. B.* (pp. 311-333). Cambridge University Press,.
- Dickey, D., Dickey, D., Fuller, W. a, & Fuller, W. a. (1979). Distribution of the Estimates for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of Th American Statistical Association*, 74(366), 427-431.
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560. doi:10.1162/003465398557825

- Eberhardt, M., & Presbitero, A. (2013). This Time They Are Different: Heterogeneity and Nonlinearity in the Relationship Between Debt and Growth. *IMF Working Papers*, 13(248). doi:10.5089/9781484309285.001
- Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). (2014). The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: Paradoxes and challenges (Overview for 2014). Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) (Vol. LCL/L.3895). Santiago, Chile. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37056/S1420493_en.pdf?sequence=1
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), 251-276. Retrieved from <http://www.med.upenn.edu/beat/docs/Engle1987.pdf>
- Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2012). Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965-2009). *Energy Economics*, 34(2), 511-517. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.003
- Fuinhas, J. A., Marques, A. C., & Couto, A. P. (2015). Oil rents and economic growth in oil producing countries: evidence from a macro panel. *Economic Change and Restructuring*. doi:10.1007/s10644-015-9170-x
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008-3014. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.040
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164. doi:10.1016/j.enpol.2008.11.012
- Hamit-Haggar, M. (2012). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective. *Energy Economics*, 34(1), 358-364. doi:10.1016/j.eneco.2011.06.005
- Hoechle, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *Stata Journal*, 7(3), 281-312. doi:10.1016/j.enpol.2007.08.035
- Huang, W. M., Lee, G. W. M., & Wu, C. C. (2008). GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Energy Policy*, 36(1), 239-247. doi:10.1016/j.enpol.2007.08.035
- IEA. (2015). Key Renewables Trends Excerpt from: Renewable Information (2015 edition). Retrieved from http://www.iea.org/bookshop/668-Renewables_Information_2015
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74. doi:10.1016/S0304-4076(03)00092-7
- IPCC. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris. Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets curve for CO2 emissions: A cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167-5172. doi:10.1016/j.enpol.2009.07.044
- Jaunky, V. C. (2011). The CO2 emissions-income nexus: Evidence from rich countries. *Energy Policy*, 39(3), 1228-1240. doi:10.1016/j.enpol.2010.11.050
- Lee, C.-C. (2005). Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. *Energy Economics*, 27(3), 415-427. doi:10.1016/j.eneco.2005.03.003
- Levin, A., Lin, C.-F., & James Chu, C.-S. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24. doi:10.1016/S0304-

4076(01)00098-7

- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652. doi:10.1111/1468-0084.0610s1631
- Mehrara, M. (2007). Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*, 35(5), 2939-2945. doi:10.1016/j.enpol.2006.10.018
- MERCOSUL. (2015). MERCOSUL. Retrieved from <http://www.mercosul.gov.br/index.php/saiba-mais-sobre-o-mercosul>
- Moscone, F., Tosetti, E. (2010). Health expenditure and income in the United states. *Health Economics*, 19(11), 1300-1317. doi:10.1002/hec
- Narayan, P. K., & Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661-666. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.005
- Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: A panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138-1147. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.016
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850-7860. doi:10.1016/j.enpol.2010.08.045
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670. doi:10.1111/1468-0084.0610s1653
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis: new results, 597-625.
- Pesaran, M. H. (2004). General Diagnostic Tests for Cross Section Dependence in Panels, 3. Retrieved from <http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/cwpe0435.pdf>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 1-38. doi:10.1002/jae
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289-326. doi:10.1002/jae.616
- Pesaran, M. H., Shin, Y. (1999). An autoregressive distributed lag modelling approach to cointegration analysis. In Storm, S. (Ed.), *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*. (pp. 1-31). Cambridge: Cambridge University Press.
- Saboori, B., & Soleymani, A. (2011). CO2 emissions, economic growth and energy consumption in Iran : A co- integration approach, 2(1), 44-53. doi:10.6088/ijes.00202010005
- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach. *Energy*, 55, 813-822. doi:10.1016/j.energy.2013.04.038
- Sadorsky, P. (2014). The effect of urbanization on CO2 emissions in emerging economies. *Energy Economics*, 41, 147-153. doi:10.1016/j.eneco.2013.11.007
- Sari, R., & Soytas, U. (2009). Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries? *Applied Energy*, 86(10), 1887-1893. doi:10.1016/j.apenergy.2008.12.007
- Smith, L. V., Leybourne, S., Kim, T.-H., & Newbold, P. (2004). More powerful panel data unit root tests with an application to mean reversion in real exchange rates. *Journal of Applied Econometrics*, 19(2), 147-170. doi:10.1002/jae.723
- Soytas, U., & Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: Causality relationship in G-7

- countries and emerging markets. *Energy Economics*, 25(1), 33-37. doi:10.1016/S0140-9883(02)00009-9
- Soytas, U., & Sari, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), 1667-1675. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.06.014
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62, 482-489. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.07.009
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland. Retrieved from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). Adoption of the Paris Agreement. United Nations, 21930(December), 32. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
- Weisser, D. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), 1543-1559. doi:10.1016/j.energy.2007.01.008
- Westerlund, J. (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748. doi:10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2007). A panel bootstrap cointegration test. *Economics Letters*, 97(3), 185-190. doi:10.1016/j.econlet.2007.03.003
- Zilio, M., & Recalde, M. (2011). GDP and environment pressure: The role of energy in Latin America and the Caribbean. *Energy Policy*, 39(12), 7941-7949. doi:10.1016/j.enpol.2011.09.049

Capítulo 4

Ensaio 2 - Consumo de eletricidade de origem renovável e não renovável, crescimento económico e emissões poluentes: evidência de um macro painel de países com elevado rendimento da OCDE

4.1. Introdução

A economia global, o consumo de energia e o crescimento económico tem sido estudado sob diversos prismas ao longo dos tempos, especialmente depois de 1990 (Stern, 2003; Stern et al., 1996; Selden e Song, 1994). Estas investigações sobre o tipo de relação existente entre os factores têm apontado os principais dilemas ambientais da atualidade que são a necessidade de aumentar o consumo de energia para assegurar o crescimento económico e o bem-estar das populações e de não esquecer que estes factores são um dos principais contribuintes para as emissões de dióxido de carbono e outros gases com grande relevância para o efeito estufa (Salahuddin et al., 2015; Cowan et al., 2014; Acaravci e Ozturk, 2010; Ang, 2007; World Bank, 2007).

A mitigação das alterações climáticas a partir do momento em que os países e suas populações tomaram conhecimento da gravidade da poluição para a humanidade, tornou-se urgente mudanças em diversos setores da economia em particular nos setores produtivos e em todos os outros que dependem do consumo de energia para as suas atividades ou serviços (IPCC, 2007). Em todo o mundo as energias primárias de fontes convencionais têm tido uma grande cota de responsabilidade ou contribuição para este cenário. Por exemplo, o carvão, o petróleo e gás natural têm desempenhado um papel muitíssimo grave para a vulnerabilidade ambiental (Shafiei e Salim, 2014).

A eletricidade, como protagonista do desenvolvimento económico e também social, tem igualmente desempenhado um papel chave nesse âmbito (contexto económico e ambiental) (Ang, 2007). Assim, os países desenvolvidos, como os membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), têm tido um papel relevante dado o acentuado nível de eletrificação de suas economias (Shafiei e Salim, 2014), que tem conduzido aos níveis de consumo de energia exotérmica extremamente elevados e

importantes para fazerem funcionar os sistemas tecnológico-produtivos, de iluminação, de equipamento doméstico e climatização, em suma, para fazer funcionar sua economia global e assegurar níveis de alta qualidade em termos de bem-estar social. Os investimentos necessários para assegurar o desenvolvimento de matrizes de energia elétrica de origem renovável e assegurar a inovação tecnológica e maior eficiência da economia, revelam-se uma oportunidade para mitigar as emissões de GEE maioritariamente dependentes de energias com origem em fontes fósseis (IEA, 2015; REN21, 2015). Dados sobre a geração de energia elétrica por tipo de fonte e o consumo de energia nos países OCDE (ver Tabela 11) demonstram que há uma elevada variação no conjunto das energias disponíveis nos países desenvolvidos.

O setor industrial responde pela maior parcela do consumo final de electricidade na Alemanha (DEU), na Austrália (AUS), na Áustria (AUT), na Bélgica (BEL), no Canadá (CAN), na Finlândia (FIN), na Irlanda (IRL) e na Itália (ITA), enquanto em França (FRA), na Grécia (GRC) e nos Estados Unidos da América (EUA), o maior setor consumidor de energia elétrica é o residencial. Na Dinamarca (DNK), Hungria (HUN) e Espanha (ESP) o setor comercial e de serviços públicos tem a maior cota-parte de responsabilidade no consumo de electricidade.

Tabela 11. Geração e consumo de electricidade nos países da OCDE selecionados (2011)

PAÍSES	AUS	AUT	BEL	CAN	DEU	DNK	FIN
Electricidade (Gwh)							
Produção	252,623	65,811	90,235	637,997	613,068	35,232	73,481
Consumo final	210,935	62,211	80,115	516,706	525,546	31,924	80,076
Setores económicos (%)							
Indústria	38,76	45,10	46,51	39,40	43,73	27,36	49,00
Transporte	1,87	5,07	2,04	0,75	2,31	1,24	0,91
Residencial	29,38	28,01	24,04	29,62	25,99	31,67	26,45
Com/S. Pub.	28,96	20,56	27,03	28,41	27,97	33,15	21,53
Agricultura	1,04	1,26	0,39	1,83	-	6,57	2,11
Outros cons.	-	-	-	-	-	-	-
Energia Fóssil (%)							
Carvão	68,60	11,14	5,96	12,23	44,43	39,67	21,43
Gás natural	19,66	18,89	28,19	10,10	14,23	16,58	12,85
Óleo	1,62	0,32	0,32	1,04	1,17	1,29	0,57
Energia Renovável (%)							
Biocombustível	0,83	6,57	4,30	1,39	5,36	9,72	14,90
Hidro	6,65	57,39	1,58	58,90	3,83	0,05	16,94
Solar PV	0,34	0,26	1,30	0,04	3,20	0,04	0,01
Eólica	2,30	2,94	2,56	1,60	7,97	27,74	0,65
Resíduos	-	1,24	2,20	0,03	1,82	4,91	0,68
Outras energias (%)							
Nuclear	-	-	53,45	14,67	17,61	-	31,56
Energia (n.e*)	-	0,02	0,15	-	0,38	-	0,41

continuação

PAÍSES	FRA	GRC	HUN	IRL	ITA	ESP	EUA
Eletricidade (Gwh)							
Produção	560,343	59,436	35,983	27,472	302,584	293,848	4,349,571
Consumo final	417,566	51,794	34,540	24,871	301,828	243,509	3,777,001
Setores económicos (%)							
Industria	28,23	28,27	28,60	38,13	42,43	30,16	22,55
Transporte	2,97	0,36	3,23	0,18	3,58	1,85	0,17
Residencial	33,64	34,03	32,75	33,30	23,24	31,25	37,67
Com/S. Pub.	32,10	32,51	33,20	24,14	28,80	33,39	35,16
Agricultura	1,92	4,83	2,20	2,24	1,93	1,67	0,90
Outros cons.	1,14	-	0,02	-	0,02	1,67	3,54
Energia Fóssil (%)							
Carvão	3,09	52,26	18,27	25,20	16,57	15,36	43,12
Gás natural	4,77	23,45	29,84	54,18	47,77	29,10	24,03
Óleo	0,41	9,95	0,40	0,87	6,57	5,00	0,91
Energia Renovável (%)							
Biocombustível	0,52	0,35	4,84	1,23	2,85	1,30	1,23
Hidro	8,90	7,19	0,62	2,57	15,75	11,20	7,92
Solar PV	0,37	1,03	-	-	3,57	2,53	0,12
Eólica	2,15	5,58	1,74	15,94	3,26	14,61	2,78
Resíduos	0,75	0,19	0,71	-	1,48	0,54	0,55
Outras energias (%)							
Nuclear	78,95	-	43,59	-	-	19,64	18,88
Energia (n.e*)	0,09	-	-	-	2,14	0,72	0,45

Nota: os dados referentes à produção de eletricidade, consumo por setores e consumo final foram obtidos a partir do site da "IEA-International Energy Agency" (IEA): (www.iea.org). n.e significa energias não especificada.

Note-se que entre todos os países do painel somente a Finlândia tem uma produção própria de energia elétrica menor do que a sua necessidade de consumo, seja eletricidade de fonte suja (fóssil), ou limpa (renovável) ou nuclear.

Com este panorama, é expectável que os países desenvolvidos considerem isso uma estratégia, e que apenas ponderem alterar suas estratégias energéticas se puderem dispor de fontes limpas e confiáveis para assegurar o nível de desenvolvimento. Por ironia a Finlândia deste grupo em que o consumo final de energia elétrica é maior do que a produção, logo o país mais frágil energeticamente falando, Por suposto, é um dos países da OCDE que tem pautado sua matriz energética no *mix* de energia renovável.

Outro destaque que pode-se referir é ainda o predomínio da utilização dos combustíveis fósseis para produzir energia elétrica em relação a energia nuclear, energias renováveis e a outras energias não especificadas que chegam a representar 58,09%, 21,7% 19,71% e 0,43%, respectivamente. Entre os produtos fósseis mais consumidos para a geração de eletricidade o

carvão ocupa o primeiro lugar, seguido do gás natural e do *fuel*-óleo, com cotas que vão dos 3,09% na França até aos 68,60% na Austrália. O gás natural por sua vez tem um contributo de 4,77% na França (mínimo) e de 54,18% na Irlanda (máximo). Com uma parcela muito menor para gerar eletricidade o *fuel*-óleo varia entre os 0,32% na Áustria e Bélgica e aos 9,95% na Grécia.

Quanto ao uso de energia elétrica com origem no *mix* de energia renovável nos países OCDE o seu peso varia entre 0,35% na Grécia e 14,9% na Finlândia. Por sua vez, a cota-parte de eletricidade gerada a partir de fontes hídricas varia entre 0,05% na Dinamarca e 57,39% na Áustria. Já a percentagem de energia solar varia de 0,01% na Finlândia e 0,04% no Canadá e Dinamarca até 3,57% na Itália. Por sua vez a eletricidade de fonte eólica tem um peso que vai de 0,65% na Finlândia até 27,74% na Dinamarca. A utilização de resíduos para a geração de eletricidade renovável varia de 0,00% na Austrália até 4,91% na Dinamarca. E finalmente, falta referir que a produção de eletricidade de origem em energia nuclear, varia entre 14,67% no Canadá e 78,98% na França.

No contexto, o exame da interrelação entre o consumo de eletricidade e o crescimento económico tem despertado especial interesse entre os investigadores de todo o mundo (Dogan, 2015; Jiranyaku, 2014; Gurgul e Lach, 2012; Payne, 2010; Costantini e Martini, 2010; Pao, 2009; Narayan et al., 2008; Squalli, 2007). O previsível crescimento acelerado do consumo de eletricidade nos países da OCDE e as várias fontes de energias que asseguram assim as emissões de poluentes deverá ter um aumento significativo nesses países (e até no resto do mundo) (IEA, 2015; Soimakallio e Saikku, 2012). Portanto, o acelerado ritmo de desenvolvimento das atividades produtivas e a consequente expansão do setor elétrico são *drivers* importantes do crescimento económico que o consumo de energia potencializa a degradação ambiental dependendo da sua gravidade e ou da combinação de produtos energéticos usados na geração (Weisser, 2007).

A extensão deste relacionamento entre energia, crescimento económico ao tema da poluição tem sido levada a cabo por um razoável número de autores, especialmente no último quinquénio; exemplo disso são as investigações desenvolvidas por Papachristos (2015); Salahuddin et al. (2015); Shahbaz et al. (2014); Bella et al. (2014); Cowan et al. (2014); Zhang et al. (2013); Soimakallio e Saikku (2012); Lean e Smyth, (2010), entre outras. Contudo, tanto quanto é do nosso conhecimento, grande parte dos estudos sobre o *linkage* 'consumo de energia elétrica, crescimento económicos e emissões de GEE' não se concentra no exame da respetiva fonte de energia (fóssil e renovável).

Há dois estudos que fazem essa análise separando a energia elétrica consumida por tipo de fonte de geração, um primeiro que examina a relação entre consumo de eletricidade, crescimento económico e emissões de poluentes no âmbito dos países da OCDE desenvolvido por Jebli et al. (2016) que encontraram evidência empírica de que o aumento do consumo de

eletricidade de origem renovável e a produção comercial reduzem as emissões de poluentes para a amostra de países utilizados; o segundo estudo foi realizado por Farhani e Shahbaz (2014) para analisar a relação causal entre ambas as fontes de eletricidade e as emissões de dióxido de carbono em países do Médio Oriente e países do norte da África (MENA), estudo cujos resultados demonstraram que no curto prazo a eletricidade de ambas as fontes aumentam a poluição, e que há evidência empírica de causalidade unidirecional indo do consumo de energia para as emissões de dióxido de carbono no curto prazo, enquanto que no longo prazo, a causalidade é do tipo bidirecional. A diferença dos resultados de ambos os estudos vai para além do espaço geográfico ou da heterogeneidade dos países. No primeiro estudo, os autores concluíram que o uso de energias renováveis no comércio é um *driver* importante para mitigar o aquecimento global. Já o segundo, aponta para o potencial de redução da poluição nesses países, mas, à custa do sacrifício do crescimento económico.

No âmbito metodológico, ambos os estudos usam um quadro multivariado, mas a abordagem econométrica seguida por estes pesquisadores não considerou, nem num caso nem no outro, a presença de *cross-section dependence* inerente aos modelos dinâmicos. Este elemento é importante dado o fato das séries conterem memória longa, em outras palavras, as variáveis podem sofrer influências comuns devido aos impactos de políticas anteriores poderem causar choques em momentos posteriores (Fuinhas et al., 2015). Embora ambos utilizem dados em painel os testes de raízes unitárias padrão que utilizam não vão além dos já citados testes de primeira geração, testes que não levam em conta a referida dependência transversal (Ozcan, 2013).

Assim, este ensaio busca contribuir para a literatura com a ampliação do conhecimento sobre a relação entre a produção de eletricidade diferenciada por fonte de geração, o crescimento económico e as emissões de dióxido de carbono para um painel de países OCDE. Neste âmbito estima-se um modelo ARDL com UECM levando na devida conta a dependência transversal dos dados. Uma das vantagens da utilização do modelo ARDL é a de poder ser usado independentemente do facto das variáveis serem $I(0)$, $I(1)$ ou serem cointegradas (Fuinhas e Marques, 2012), e ainda o mecanismo de correcção do erro UECM ser usado para confirmar a causalidade entre as variáveis uma via alternativa à causalidade à Granger (Mehrara, 2007).

Além desta introdução, este capítulo está organizado da seguinte forma: a Seção 4.2, apresenta indicadores sobre a geração e o consumo de eletricidade nos países OCDE selecionados, e uma breve revisão de literatura. A seção 4.3, apresenta a metodologia de pesquisa. A seção 4.4 apresenta os resultados das estimações e por fim, a seção 4.5 faz a conclusão deste ensaio.

4.2. Revisão de literatura

São vários os estudos que examinam o relacionamento entre consumo de energia, crescimento e ambiente (Lean e Smyth, 2010). A maior parte da literatura recente que investiga este tema utiliza abordagens de dados de painel com um tipo de quadro multivariado (ver Cheng, 1997; Lee, 2005; Huang et al., 2008; Mahadevan et al., 2007; Apergis e Payne, 2010 e Al-Mulali et al., 2013)). Os resultados tem sido de alguma forma conflitantes dependendo do tipo de amostragem, do intervalo de tempo e também da metodologia utilizada (Al-Mulali et al., 2013; Ang, 2007; Soytaş et al., 2007; Soytaş e Sari, 2009; Ozcan, 2013; Apergis e Payne, 2009).

No contexto essas pesquisas tem sido exploradas por vários pesquisadores com o intuito de minimizar os impactos de longo prazo de políticas económicas orientadas para a redução de emissões de gases poluentes. Geralmente é definida como variável dependente as emissões de dióxido de carbono, e como variáveis explicativas as fontes de recursos energéticos. Estudos mais recentes tem incluído as fontes do *mix* de recursos renováveis, as energias (eletricidade) geradas a partir de fontes hídricas, eólicas, biocombustíveis, solares/fotovoltaicas e resíduos (Bölük e Mert, 2015). Como metodologias escolhem a que melhor se adapta aos dados disponíveis cronológicos e referentes a um único país, a vários países com dados unicamente cronológicos ou seccionais e a um conjunto de países com dados de painel, isto é, simultaneamente cronológicos e seccionais ou transversais, este último tipo talvez o predominante ultimamente.

Os estudos que investigam a relação entre consumo de energia elétrica, crescimento económico e as emissões de dióxido de carbono até agora realizado têm contribuído para acumular conhecimento, por exemplo, Bella et al. (2014) confirmaram a existência de relações de longo prazo, independentes, entre as emissões de dióxido de carbono e o consumo de eletricidade para os países da OCDE sugerindo que quer as emissões de dióxido de carbono (CO₂) quer o consumo de eletricidade podem ser reduzidos no longo prazo. Em contraste, os autores associaram o resultado obtido a um cenário preocupante em que se espera um aumento simultâneo do nível de emissões de dióxido de carbono em função do aumento da renda.

Salahuddin et al., (2015) estimaram uma relação de longo prazo entre emissões de poluentes, crescimento económico e o consumo de eletricidade para os países do Conselho de Cooperação do Golfo (GCC) e concluíram que o consumo de eletricidade e o crescimento económico estão associados positivamente com o aumento da emissão de dióxido de carbono no longo-prazo. Estes autores concluíram ainda que existe um nexo de causalidade

unidirecional indo do consumo de eletricidade para a emissão de poluição. Por sua vez, Shahbaz et al. (2014) estudou a economia dos Emirados Árabes Unidos (UAE) em que o consumo de eletricidade reduziu as emissões de dióxido de carbono.

Para Soimakallio e Saikku, (2012) a intensidade de emissões de dióxido de carbono entre os países da OCDE divergem substancialmente sendo essas variações de intensidade justificadas pelas estruturas produtivas de alguns países europeus que integram a OCDE. Para estes autores o comércio de eletricidade e a emissão de GEE pode aumentar no futuro, se não forem implementadas em massa medidas eficazes de redução de emissões e de regulação nesses países. Por sua vez Papachristos (2015), estudou a questão da eficiência de energia elétrica, e concluiu que o acréscimo de eficiência no consumo da economia dos Países Baixos (Holanda) estão associados a efeitos positivos, mas, que a poupança de eletricidade conseguida por mecanismos inteligentes não tinha influência significativa na intensidade das emissões de CO₂.

Cowan et al. (2014) reexaminando a questão do nexos causal entre consumo de eletricidade, crescimento e emissões de dióxido de carbono nos países BRICS - Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul - com dados do período 1990-2010 obtiveram evidência empírica de relação causal bidirecional indo do crescimento do PIB para as emissões de CO₂ na Rússia, de causalidade unidirecional indo das emissões de CO₂ para o crescimento do PIB no Brasil, e de causalidade unidirecional indo do consumo de eletricidade para a poluição na Índia; os mesmos autores não encontraram evidência empírica de relação dessas duas últimas variáveis no Brasil, Rússia, China e África do Sul.

Dessa forma as diversas abordagens metodológicas sobre o nexos consumo de energia, crescimento económico e poluição fornecem assim uma gama de resultados para diferentes países, conjunto de países e/ou painel de países. O quadro 2 apresenta uma síntese dos trabalhos publicados individualizando para cada um deles, o país ou grupo de países, o período de dados considerado, os resultados da causalidade conseguidos, a metodologia usada, o autor ou autores e o ano de publicação.

Quadro 2. Síntese das principais pesquisas no âmbito da literatura sobre o nexos consumo de energia, crescimento económico e poluição.

Países	Período	Resultado	Metodologia /autor
Turquia	1960-2005	Relação entre Energia↔CO ₂ , PIB↔CO ₂	ARDL/VECM Halicioglu (2009)
China	1995-2005	Relação entre PIB→CO ₂ , CKA U-invertido	ARDL/CKA, VECM Jalil e Mahmud (2009)
Dinamarca	1960-2005	Relação entre PIB→CO ₂	ARDL Acaravci e Ozturk (2010)
Grécia	1960-2005	Relação entre PIB→CO ₂	
Islândia	1960-2005	Relação entre PIB→CO ₂	
Itália	1960-2005	Relação entre PIB→CO ₂	

Ensaio sobre o Impacto do Consumo de Energias de Origem Fóssil e Renovável, o Crescimento Económico e a Tecnologia Sobre o Ambiente - Uma Abordagem com Modelação ARDL e com Dados de Painel

Países	Período	Resultado	Metodologia /autor
Portugal	1960-2005	Relação entre PIB→CO2	
Suíça	1960-2005	Relação entre PIB→CO2	
Índia	1971-2006	Relação entre Energia→CO2, PIB↔CO2	ARDL/ Johansen-Joselius Ghosh (2010)
China	1960-2007	Relação entre Energia→CO2	Toda-Yamamoto Zhang e Cheng (2009)
América Central	1971-2004	Relação entre Energia→CO2, PIB→CO2, CKA U-invertido	CKA/VECM Apergis e Payne (2009)
Países ASEAN	1980-2006	Relação entre CO2→Energia, CKA U-invertido	CKA, VECM Lean e Smyth (2010)
88 países	1960-1990	Relação entre Energia↔CO2	ECM Dinda e Coondoo (2006)
BRIC	1971-2005	Energia↔CO2, CO2→PIB	Pao e Tsai (2010)
África do Sul	1965-2006	Relação entre Energia→CO2, CO2→PIB,	Engler-Granger Menyah e Rufael (2010)
MENA	1980-2009	Relação entre Óleo↔CO2	Al-mulali (2011)
Países Asiáticos do pacífico	1971-2005	Relação entre Energia→CO2	Niu et al. (2011)
USA	1960-2007	Relação entre Energia→CO2	Menyah e Rufael (2010a)
USA	1960-2004	Relação entre Energia→CO2	Soytas et al. (2007)
Irão	1967-2007	Relação entre PIB→CO2	Lotfalipour et al. (2010)
India e China	1967-2007	Relação entre Energia↔CO2	Chandran Govindaraju e Tang (2013)
Bangladesh	1972-2006	Relação entre Energia→CO2	Johansen-Joselius Alam et al. (2012)
China	1995-2007	Relação entre Energia↔CO2	Painel/VECM Wang et al. (2011)
China	1977-2008	Relação entre Carvão↔CO2	Bloch et al. (2012)
China	1982-2004	Relação entre PIB ↔CO2, Relação entre Energia→CO2	Chang (2010)
Brasil	1980-2007	Relação entre Energia↔CO2, CKA U-invertido	Pao e Tsai (2011)
Rússia	1990-2007	Relação entre PIB ↔CO2, CO2→Energia	Pao et al. (2011)
Oriente Médio	1990-2008	Relação entre Energia→CO2, PIB→CO2	Painel P-VEC Ozcan (2013)

Nota: ARDL-Auto Regressive Distributed Lag; VAR-Vector Auto Regressive); VECM-Vector Error Correction Model/Mechanism; ECM-Error Correction Model/Mechanism; P-VEC -Panel Vector Error Correction.

4.3. Dados e metodologia

O painel de dados considerado neste ensaio contém informações sobre 14 países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a saber: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlândia, França, Grécia, Irlanda, Itália, Espanha e os EUA. Os demais países não foram incluídos na amostra devido suas séries de dados apresentarem descontinuidades ao longo do período analisado. As variáveis consideradas são a poluição por emissão de dióxido de carbono (PCO2) - mensurada em toneladas métricas per capita, a eletricidade de origem fóssil (OilElectr) - mensurada em Kwh, a eletricidade de origem renovável (RElectr) - mensurada em Kwh (compreende a eletricidade gerada a partir de fonte hídrica, de biocombustível, de biomassa, solar, eólica e de resíduos), o PIB - Produto Interno Bruto per capita mensurado nas respectivas moedas locais a preços constantes (*local current unit constant* (LCU)), a trend (T) - uma *proxy* determinística utilizada para capturar as especificidades da tecnologia e fatores exógenos.

Todos os dados das variáveis foram previamente logaritimizados (logaritmo natural) como é habitual neste tipo de aplicação, no sentido de controlar a sua variabilidade e assim minimizar eventuais problemas de heterocedasticidade que possam comprometer a qualidade dos resultados econométricos e a sua interpretação económica; além disso foram todos calculados em unidades per capita com a finalidade de controlar as grandes disparidades entre os países analisados. Os dados considerados são anuais. A produção de eletricidade por tipo de fonte de energia foi recolhida a partir do *site* da Agência Internacional de Energia (IEA), disponível em www.iea.org. Os dados sobre o PIB e a emissão de dióxido de carbono foram obtidos a partir da base de dados do Banco Mundial, *World Development Indicators* (WDI), disponível em www.worldbank.org. A Tabela 12 apresenta uma síntese descritiva dos dados (média, mínimo, máximo e nº de observações), a sua notação e a definição de cada variável usada no modelo. O período de dados da amostra refere-se aos anos de 1990 até 2011.

Tabela 12. Variáveis, definições, notações e estatísticas descritivas, países OCDE, 1990-2011.

Variáveis	Descrição estatística				
	Definição	Média	Min.	Max.	Obs.
LPCO2	Emissões CO2 eq per capita	2.2717 [0.3719]	1.5816	3.0060	307
LOilElectr	Eletricidade fóssil (Kwh)	11.2554 [1.3846]	9.4925	14.9507	308
LRElectr	Eletricidade renovável (Kwh)	10.7660 [1.8606]	6.7428	14.1437	308
LYpc	PIB per capita (LCU)	10.6942 [1.2117]	9.4421	14.6678	307

Nota: [] indica valor do desvio padrão da respectiva variável e as variáveis apresentadas encontram-se na forma logaritimizada (logaritmo natural (L)).

As economias dos países OCDE da amostra utilizada nesta pesquisa são bastante desenvolvidas e apresentam níveis de renda bastante elevados, bem como de produção e consumo de bens económicos, quando comparados com as médias anuais (per capita). Por sua vez as atividades produtivas desses países consomem parcelas cada vez mais elevadas de energias, e conseqüentemente aumentam os níveis das emissões de gás de efeito estufa (Calbick e Gunton, 2014).

No modelo aqui considerado pretende-se explicar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) dos países do painel (variável dependente) pelos consumos de eletricidade de origem fóssil (OilElectr) e de origem renovável (RElectr) tendo o crescimento económico dos países (Ypc) como variável de enquadramento. Para capturar as relações dinâmicas entre essas variáveis usam-se duas especificações consoante as variáveis se apresentam em níveis (L), Eq (4.1), ou em primeiras diferenças (D) Eq(4.2):

$$LPCO2_{it} = f(LOilElectr_{it}, LRElectr_{it}, LYpc_{it}) \quad (4.1)$$

$$DLPCO2_{it} = f(DLOilElectr_{it}, DLRElectr_{it}, DLYpc_{it}) \quad (4.2)$$

Como uma grande parcela dos países OCDE são de alta renda será de esperar que estes países apresentem especificidades próprias e comuns e que ao mesmo tempo partilhem um nível de desenvolvimento comum. A abordagem de dados em painel que a literatura refere ser a mais adequada para lidar com o controle da heterogeneidade (Baltagi, 2005; Hsião, 2014; Hill et al., 2012) foi a selecionada.

No sentido, de identificar as relações de equilíbrio no longo prazo entre as diversas variáveis da literatura, torna-se aconselhável seguir a abordagem ARDL, um modelo ARDL que integra uma especificação dinâmica geral, que usa as defasagens ou defasamentos (*lags*) da variável dependente e defasamentos contemporâneos das variáveis independentes, para estimar os efeitos de curto e de longo prazos (Ghosh, 2010). Assim, o modelo ARDL final a estimar, em níveis, é o especificado pela equação (4.3) que inclui ainda, para além das variáveis logaritmizadas acima referidas, uma variável trend (T) para capturar os efeitos relacionados com a eficiência e a tecnologia (*proxy*).

$$\begin{aligned}
 LPCO2_{it} = & \alpha_{1i} + \delta_{1i}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{11ij}LPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{12ij}LOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{13ij}LRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{14ij}LYpc_{it-j} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

De forma, a captar os efeitos dinâmicos pelo termo de erro UECM em curto e longo prazo e a permitir os ajustamentos com a consistência que a modelagem requer incluiu-se o mecanismo de correcção do erro não restringido, UECM (Fuinhas et al., 2015) pelo que a equação (4.3) foi parametrizada na forma geral UECM que é dada pela equação (4.4).

$$\begin{aligned}
 DLPCO2_{it} = & \alpha_{2i} + \delta_{2i}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{21ij}DLPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{22ij}DLOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{23ij}DLRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{24ij}DLYpc_{it-j} + \gamma_{21i}LPCO2_{it-1} + \\
 & + \gamma_{22i}LOilElectr_{it-1} + \gamma_{23i}LRElectr_{it-1} + \gamma_{24i}LYpc_{it-1} + \varepsilon_{2it},
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

onde α_{2i} denota o intercepto/intersecção para cada país $i(i=1,2,\dots,8)$, δ_{2i} , β_{21ij} , $k=1,\dots,m$, e γ_{2im} , os coeficientes dos parâmetros, e ε_{2it} o termo de erro. De forma a seleccionar um modelo específico, parte-se do modelo mais geral para que a sua selecção seja tão parcimoniosa quanto possível e seguindo-se com os testes de diagnósticos (Fuinhas e Marques, 2012).

4.3.1. Teste de dependência seccional ou cruzada (CSD)

O teste CSD (Tabela 13) foi realizado com as variáveis expressas quer em níveis quer em primeiras diferenças. No caso da energia renovável em nível, a variável possui um valor que não é só significativo, mas, que é o segundo maior valor em ordem de relevância para o modelo. Este resultado sinaliza que os países da OCDE estão respondendo ao mesmo tempo aos estímulos internacionais. Ou seja, que os países são integrados o que explica, por exemplo, porque é que as estratégias de desenvolvimento das energias renováveis são deixadas à iniciativa individual de cada país. Como se pode verificar os valores do teste CSD para as variáveis expressas em diferenças apresentam-se mais reduzidos.

Embora os países se apresentem muito parecidos, eles não se ajustam exatamente da mesma maneira no longo prazo. Por exemplo, as metas estabelecidas pelos acordos internacionais

foram ratificados pela maioria dos países europeus que fazem parte da UE bem como da OCDE que ao proceder assim assumiram o compromisso de atingirem essas metas alavancando a geração de eletricidade a partir de fontes energéticas renováveis. Como já mencionado na Tabela 11 as energias renováveis no caso dos países OCDE são em última instância as que envolvem maiores riscos (ou por intermitência ou porque são dependentes de um maior grau de incentivos e de fenômenos naturais); ao contrário dessas energias a energia fóssil é mais estável e estocável. Estas especificidades ditam que o desenvolvimento das energias renováveis só terá êxito se estas forem estimuladas, subsidiadas ou apoiadas de várias formas, segundo níveis diferenciados pelos países, até mesmo porque, a repartição desses recursos pelos países da OCDE também não são uniformes.

A análise individual das variáveis PIB e da eletricidade de fonte fóssil indicam que os países são sincronizados, o que explica porque o painel tem presença de CSD e porque os países partilham tendências comuns. Ou seja, as variáveis tendem a evoluir aproximadamente da mesma maneira em todos os países.

Tabela 13. Resultados do Teste de dependência seccional, países da OCDE, 1990-2011.

Em nível	Em primeiras diferenças					
	Variável	CSD-test	corr	Abs(corr)	CSD-test	corr
LPCO2	16.45***	0.369	0.492	12.59***	0.290	0.336
LOilElectr	24.85***	0.558	0.636	6.70***	0.155	0.261
LRElectr	31.95***	0.717	0.717	0.57	0.013	0.184
LYpc	43.01***	0.967	0.967	29.02***	0.668	0.668

Nota: 1) Teste CSD admite distribuição $N(0,1)$, H_0 : "cross-section independence". 2) ***, ** e * denotam valores significativos a 1%, 5% e 10%, respectivamente. 3) Os resultados de CSD foram obtidos com o comando xtcd do software stata. As variáveis apresentadas encontram-se na forma logaritimizada (logaritmo natural (L) e na forma em primeiras diferenças (DL).

4.3.2. Raízes unitárias

Para apreciar a raiz unitária das variáveis do modelo e para identificar a ordem de integração, primeiramente, foram realizados vários testes da chamada primeira geração: testes LLC, IPS, ADF-Fisher, PP-Fisher (Levin et al., 2002; Im et al., 2003; Maddala e Wu, 1999; Phillips e Perron, 1998) e ADF-Choi Choi (2001). A hipótese nula destes testes (H_0) é que as séries são integradas de ordem 1, são $I(1)$ ou que apresentam uma raiz unitária (*unit root*) que é testada contra a hipótese alternativa de estacionaridade (H_1) (Saboori e Sulaiman, 2013).

As ilações quanto à presença ou não de raiz unitária nas séries é tomada com base nos valores das probabilidades que nos testes Fisher são calculados com uma distribuição qui-quadrado assintótica; todos os outros testes assumem a normalidade assintótica dos dados (Jebli et al.,

2016; Poumanyong e Kaneko, 2010). Dada a heterogeneidade dos dados, os testes de primeira geração são relevantes para demonstrar que as variáveis não são I(2). Neste estudo utilizamos também os testes de segunda geração para examinar a raiz unitária, nomeadamente o teste CIPS (Pesaran, 2007), um teste robusto para examinar a heterogeneidade e testa H0 sob uma distribuição não padronizada (Fuinhas et al., 2015).

Nas Tabelas 14 e 15 apresentam-se os resultados para ambos os testes de raiz unitária das variáveis em níveis e em primeiras diferenças, na base do modelo com intercepto e tendência determinística. Os resultados de ambos os testes sugerem que todas as variáveis são estacionárias em primeiras diferenças, indicando que são todas I(1). Fica assim validado o uso da abordagem ARDL. A análise dos resultados das tabelas 14 e 15 revelam ainda que os testes de raiz unitária de segunda geração são mais eficazes, pois, como o painel tem interferência devido à presença de dependência seccional, CSD, os testes de primeira geração não são aconselhados para lidar com este caso.

Tabela 14. Testes de raízes unitárias de 1ª geração, países OCDE, 1990-2011.

	LPCO2	DLPCO2	LOilElectr	DLOilElectr
Teste	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
Levin, Lin & Chu <i>t</i> (LLC)	3.839	-7.588***	1.273	-9.335***
Im, Pesaran e Shin <i>W-stat</i> (IPS)	4.575	-8.929***	1.865	-10.627***
ADF-Fisher <i>Chi-square</i>	8.416	131.725***	25.060	143.380***
PP-Fisher <i>Chi square</i>	5.712	-7.7378***	2.088	-8.930***
ADF-Choi	26.074	238.364***	21.606	286.611***
	LRElectr	DLRElectr	LYpc	DLYpc
Teste	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
Levin, Lin & Chu <i>t</i> (LLC)	-3.006***	-11.400***	4.219	-4.954***
Im, Pesaran e Shin <i>W-stat</i> (IPS)	-2.670***	-12.476***	4.149	-3.625***
ADF-Fisher <i>Chi-square</i>	50.410***	166.162***	13.012	65.571***
PP-Fisher <i>Chi square</i>	-2.526***	-10.133***	4.501	-3.609***
ADF-Choi	56.297***	471.313***	11.741	97.611***

Nota: ***, ** e * denota 1%, 5% e 10% ao nível de significância, respectivamente. As hipóteses nulas do teste de primeira geração tem um comprimento de 1 lag que foi decidido após uma inspeção visual das séries, e o Newey-West por seleção automática de largura de banda e do kernel Bartlett. O software EViews 9 foi usado para calcular LLC, IPS, ADF-Fisher, PP-Fisher e ADF-Choi.

Embora os testes de primeira geração apontem claramente para que as variáveis sejam I(1), como se tem a presença de dependência Cross-seccional, CSD, vamos usar o teste CIPS que é robusto. Ressalta-se que o teste CIPS (Tabela 15) sem tendência determinística é inconclusivo, mas, quando se inclui a tendência demonstra claramente que as variáveis em

nível têm raiz unitária e quando se tomam as primeiras diferenças o resultado é consensual, o que nos permite concluir que as variáveis são integradas de ordem 1 ou I(1).

Tabela 15. Testes de raízes unitárias - 2ª geração, países OCDE, 1990-2011.

Variável	CIPS (zt-bar)			
	sem trend		com trend	
	Em nível	Em 1as diferenças	Em nível	Em 1as diferenças
LPCO2	-1.566*	-7.043***	-0.645	-6.808***
LOilElectr	-3.840***	-5.390***	-0.749	-3.971***
LRElectr	-2.475***	-4.801***	-0.482	-2.845***
LYpc	1.406	-5.418***	2.050	-3.476***

Nota: Teste de raiz unitária (CIPS) calculado com 2 lags (Pesaran, 2007). Os resultados foram obtidos com o comando `multipurt` do programa Stata e as variáveis apresentadas encontram-se na forma logaritimizada (logaritmo natural (L) e na forma em primeiras diferenças (DL).

4.3.3. Matriz das Correlações e Estatísticas do Teste VIF

O teste VIF, um dos mais usados para apreciar a multicolinearidade entre variáveis explicativas e cujos resultados se podem ver na Tabela 16 revelou que quer quando as variáveis se apresentam em níveis quer quando se apresentam em primeiras diferenças não sofrem do problema de multicolinearidade, ou pelos menos que ela não é grave dado o facto de estar-se longe do valor padrão 10. Também o teste das correlações entre cada duas variáveis exclui esse cenário já que os valores absolutos das correlações constantes do quadro estão também longe do valor 0.95 considerado como padrão.

Tabela 16. Testes VIF e das correlações para apreciar a multicolinearidade, países OCDE, 1990-2011.

Matriz de correlação						
Var. em nível	LPCO2	Trend	LOilElectr	LRElectr	LYpc	VIF
LPCO2	1.000					
Trend	-0.028	1.000				1.04
LOilElectr	0.564	0.078	1.000			1.74
LRElectr	0.239	0.112	0.646	1.000		1.77
LYpc	0.162	0.117	-0.225	0.243	1.000	1.10
Média VIF						1.41
Var. em 1as diferenças	DLPCO2	Trend	DLOilElectr	DLRElectr	DLYpc	VIF
DLPCO2	1.000					
Trend	-0.249	1.000				1.07
DLOilElectr	0.813	-0.175	1.000			1.08
DLRElectr	-0.102	-0.012	-0.159	1.000		1.06
DLYpc	0.315	-0.203	0.156	0.025	1.000	1.03
Média VIF						1.06

Nota: Obtido com o comando `stat VIF`

Para estimar os efeitos individuais dos choques comuns partilhados pelos países do painel OCDE foram utilizados primeiramente dois modelos, o modelo de efeitos aleatórios - RE e o modelo de efeitos fixos - FE. A hipótese nula deste teste é a de que o modelo de efeitos aleatórios, RE, é o modelo mais apropriado pelo que rejeitando-se essa hipótese conclui-se que o mais indicado é o de efeitos fixos (FE).

No caso do modelo RE a sua estrutura precisa de ser rearranjada, nomeadamente no que diz respeito ao seu termo de erro que passa a assumir a forma $\mu_i + \omega_{it}$, onde μ_i denota N-1 efeitos específicos do país, e ω_{it} são os erros independentes e igualmente distribuídos. Assim, a eq. (4.4) converte-se na eq. (4.5) seguinte alterando ε_{2-it} para $\mu_i + \omega_{it}$ conforme já referido.

$$\begin{aligned}
 DLPCO2_{it} = & \alpha_{3i} + \delta_{3i}T_t + \sum_{j=1}^k \beta_{31ij}DLPCO2_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{32ij}DLOilElectr_{it-j} + \\
 & + \sum_{j=0}^k \beta_{33ij}DLRElectr_{it-j} + \sum_{j=0}^k \beta_{34ij}DLYpc_{it-j} + \gamma_{31i}LPCO2_{it-1} + \\
 & + \gamma_{32i}LOilElectr_{it-1} + \gamma_{33i}LRElectr_{it-1} + \gamma_{34i}LYpc_{it-1} + \mu_i + \omega_{it},
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

Nesta formulação α_{3i} é o intercepto/interseção, δ_{3i} , β_{3kij} , $k= 1, \dots, m$, e γ_{3im} , são os parâmetros, e $\mu_i + \omega_{it}$ é o termo de erro. Após esse procedimento foi estimado o modelo com apoio do programa stata e do comando xtreg e usou-se o teste de *Hausman* que levou a ser selecionado o modelo de efeitos fixos como o mais indicado já que $\chi^2_7=50.41$ e $\text{prob}(\chi^2)=0.0000$, cujos valores levam à rejeição da hipótese nula (H_0) e portanto chega-se a conclusão quanto ao melhor modelo.

Dada a característica dinâmica do macro painel, a presença de intervalos longos e considerando heterogeneidade dos parâmetros, o próximo passo foi realizar a estimação do modelo dinâmico para estimar os coeficientes de de curto e de longo prazo (Fuinhas et al., 2015). Para isso, usou-se o modelo mais geral *Mean Group* (MG), o modelo híbrido *Pooled Mean Group* (PMG) e o modelo de efeitos fixos (FE). O primeiro modelo usa um estimador que gera estimativas individuais para cada país que são uma média ponderada dos coeficientes; o segundo restringe as estimativas de longo prazo permitindo que apenas as de curto prazo possam variar e por fim, o estimador de efeitos fixos, FE, faz as estimações dos parâmetros na forma usual ao nível das constantes do modelo (Blackburne e Frank, 2007).

Dada a necessidade de incluir o mecanismo corrector do erro, UECM, no modelo ARDL utilizado para corrigir o problema da correlação entre os resíduos e os regressores endógenos,

e como o estimador PMG restringe as elasticidades de longo prazo a condição de serem iguais, este por sua vez gera estimativas eficientes e consistentes quando as restrições são verdadeiras. No caso contrário, isso implicaria que se o modelo verdadeiro fosse heterogêneo, os resultados dos estimadores dados por PMG seriam inconsistentes. Já para o estimador MG apresenta estimativas consistentes em ambos os casos. Para distinguir qual dos estimadores é utilizado recorre-se, como já se referiu, ao teste de Hausman (Blackburne e Frank, 2007).

4.4. Resultados

O próximo passo deveria ser a realização do teste de cointegração, ou averiguar a existência de relações dinâmicas de longo prazo entre as variáveis o que geralmente é feito com o teste de Pedroni (Pedroni, 1999, 2004), teste que leva em conta a presença de parâmetros com heterogeneidade permitindo o exame de cointegração para efeitos fixos individuais específicos e com tendência determinística (Hamit-Haggar, 2012), mas que aqui não se pode utilizar dada a presença de dependência seccional ou transversal CSD dos dados do modelo. Por esta razão foi decidido utilizar como alternativa o teste de cointegração desenvolvido por Westerlund (Westerlund, 2007). Um dos grandes problemas das técnicas desenvolvidas para testar a cointegração na presença de relações de longo prazo entre variáveis integradas é o fato de muitas vezes não se conseguir rejeitar a hipótese nula de não cointegração (Persyn e Westerlund, 2008), a falha dos testes de cointegração exigem que os parâmetros de longo prazo em níveis sejam iguais aos parâmetros de curto prazo para as variáveis em primeiras diferenças, levando a uma perda significativa do poder explicativo do modelo estimado (Persyn e Westerlund, 2008).

Tabela 17. Resultados do teste de cointegração de Westerlund, países OCDE, 1990-2011.

Estatísticas	Value	z-value	p-value	p-value robust
Gt	-2.633	0.305	0.620	0.181
Ga	-9.316	2.892	0.998	0.060
Pt	-5.919	3.504	1.000	0.771
Pa	-5.166	3.440	1.000	0.603

Nota: Teste de cointegração Westerlund (2007) com hipótese nula (H0) de não cointegração com 8 séries e 3 covariáveis; para controlar a dependência transversal, foram gerados valores robustos a partir de 800 repetições com recurso a *bootstrapping*; as estatísticas Gt e Ga testam a cointegração de forma individual para cada país e Pt e Pa testam a cointegração para o painel; os resultados dos quatro testes foram obtidos a partir do comando xtwest do Stata.

A análise de cointegração para dados de painel baseada no teste de Westerlund (2007) é composto por quatro testes divididos em dois grupos, onde o primeiro grupo constituído por (Gt, Ga) testa a hipótese nula de cointegração das variáveis do painel expressas em níveis e o segundo grupo constituído por (Pt, Pa) testa a hipótese de que há pelo menos uma relação de cointegração (Persyn e Westerlund, 2008). Neste caso o resultado de três dos testes é coincidente e indica que não há cointegração quer ao nível do painel quer também individualmente. A única exceção veio da estatística Ga que apresentou *p-value* robusto que indicia cointegração mas apenas a níveis de significância superiores a 6%, logo relativamente elevados o que retira valor ao teste. Uma possível explicação para estes resultados deve-se ao fato de as variáveis em nível (Tabela 15) não terem fornecido informações claras de que todas as variáveis são I(1) o que só por si é justificativa para este resultado.

Os resultados das estimações com recurso aos modelos MG, PMG e FE juntamente com o teste de *Hausman* mostram-se na Tabela 18. Do quadro se vê que o teste de *Hausman* para confrontar os modelos MG e PMG apresentou como resultado n.a. (não disponíveis, de *not available*), resultado raro que segundo Dincecco (2010), leva a rejeição do primeiro estimador (Hausman e McFadden, 1984). Do confronto entre os estimadores MG e FE a estatística *Hausman* forneceu um valor do qui-quadrado nulo $\chi^2_8=0.000$ com uma $\text{Prob}(\chi^2)=1,000$. Este resultado permite-nos rejeitar a hipótese nula (H0) (Blackburne e Frank, 2007), permitindo-nos concluir que o estimador de efeitos fixos FE é o mais indicado para a análise do que o modelo MG.

Tabela 18. Modelos estimados e teste de *Hausman*

Modelos			
Variável dependente = PCO2			
Variáveis explicativas	MG (I)	PMG (II)	FE (III)
Trend	-0.0160***	-0.0117***	-0.0044***
LOilElectr (-1)	0.3977***	0.5302***	0.3778***
LRElectr (-1)	0.1213	0.0045	-0.0396*
LYpc (-1)	0.6244***	0.4879***	0.3490***
ECM	-0.8163***	-0.5305***	-0.3021***
DLOilElectr	0.3245***	0.3595***	0.3876***
DLRElectr	-	-	-
DLYpc	0.5686***	0.5135***	0.4677***
constante	-6.6035***	-4.5908***	-1.5579***
Teste <i>Hausman</i>	MG vs PMG	PMG vs FE	MG vs FE
χ^2_8	n.a	0.00	0.00
$\text{Prob} > \chi^2$		1.000	1.000

Nota: ***, ** e * testes significativos no nível de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente; os valores de MG vs PMG, PMG vs FE e MG vs FE foram obtidos com a função do stata *hausman, sigmamore alleq constant*; ECM denota *Error correction Mechanism*. (n.a) significa não disponível (*not available*).

Para garantir que as estimações não são afectadas por violações às hipóteses básicas do modelo, o que comprometeria fortemente as conclusões que a partir dele se pudessem extrair foi realizado uma bateria de testes que integra o teste de Pesaran (*Pesaran test*) para identificar problemas de correlação contemporânea entre as seções ou países (*cross-sections*), o teste de Wooldridge (*Wooldridge test*) para identificar autocorrelação serial, o teste de Wald Modificado (*Modified Wald test*) para identificar problemas de heterocedasticidade entre os erros dos modelos estimados e o teste Breusch-Pagan LM (BP) para verificar se há problemas de dependência transversal ou seccional.

As hipóteses nulas (H_0) dos testes de autocorrelação entre os resíduos são de que os resíduos não estão correlacionados ou são aleatórios e seguem uma distribuição normal e que não existe correlação em série entre os erros; para os testes de heterocedasticidade é que os erros são homocedásticos ou têm variância constante. A decisão é geralmente tomada com recurso à estatística F ou do qui-quadrado.

Neste estudo foram ainda aplicados os testes de *Bhargava, Franzini and Narendranathan's Durbin-Watson* (W-D) e de Baltagi-Wu's LBI "*local Best Invariant*", para reforçar os cuidados com o problema de autocorrelação no modelo. Com base nos resultados da Tabela 19 pode-se dizer que os testes de Pesaran, Woodridge e o teste de Wald modificado rejeitam a hipótese nula (H_0) indicando que o modelo apresenta os resíduos correlacionados, correlação serial de primeira ordem e heterocedásticos. Por sua vez, o teste de *Breusch-Pagan LM test* (BP) não rejeita a hipótese nula de os resíduos não serem correlacionados ou serem aleatórios. Por sua vez os testes de Bhargava et al. Durbin-Watson e Baltagi-Wu LBI indicam não haver problemas de autocorrelação entre os resíduos.

Tabela 19. Testes de especificação para os erros

Pesaran test	Woodridge test	Modified Wald test
4.985***	F (1,13)=34.680***	$\chi^2_{14} = 1447.62$ ***
Breusch-Pagan LM test	Bhargava et al. Durbin-Watson	Baltagi-Wu LBI
$\chi^2_{91} = 105.978$	2.103	2.220

Nota: ***, **, * denota valores no nível de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Todavia, os testes de especificação fornecem um acentuado contraste entre os seus resultados caso em que se não for devidamente acautelado pode conduzir a análises errôneas (Hoechle, 2007). Para resolver os problemas detectados no modelo recorreu-se ao estimador Driscoll e Kraay (1998) que permite corrigir o erro padrão de forma consistente e robusta. Nesse sentido estimou-se novamente o modelo de FE com erros padrão *Driscoll-Kraay* (FE D-K), e outros três modelos como benchmark, designadamente: OLS, FE e FE robust, este último para controlar a heterocedasticidade (Hoechle, 2007; Fuinhas et al., 2015).

Os resultados com as novas estimações são apresentados na Tabela 20 e como se vê o panorama não mudou muito, talvez devido à convergência de políticas internacionais direcionadas para as questões ambientais (que atualmente são preocupações de quase todos os países). Isso pode ser, por exemplo, o caso da variável RElectr em nível (Tabela 13) que apresentou o segundo valor mais importante no painel. No entanto, a análise deste resultado precisa de alguma ponderação. Em primeiro lugar, a imposição por meio de políticas públicas globais como os acordos internacionais assumidos pelos países em Quioto (e também os novos

acordos aprovados recentemente na conferência de Paris (COP21)) com vista à redução das emissões de poluentes; como é notório, uma das alternativas para a solução ou minimização do problema é a possível mudança da matriz energética.

Assim, realizar investimentos para aumentar a quantidade de energia elétrica de fontes renováveis seria o mais lógico. No entanto, no curto prazo isso não pode ser comprovado (Tabela 20) pois os coeficientes vieram insignificantes. Por outro lado, apesar das energias renováveis terem variações de país para país elas não são uniformes. Uma conclusão que se pode extrair e que parece lógica é a de que os países estão a gerir a problemática das energias renováveis de forma diferente. Além disso, a capacidade das energias renováveis para reduzir as emissões varia também com o país; mas isso indicaria que se estava no caminho do cumprimento das metas de redução assumidas nos tratados internacionais.

Tabela 20. Resultado da estimação

Modelos				
Variável dependente = PCO2				Métodos e Modelos
Variáveis	OLS (IV)	FE (V)	FE Robust (VI)	FE D-K (VII)
Trend	-0.0006**	-0.0044***	-0.0044***	-0.0044***
DLOilElectr	0.3837***	0.3876***	0.3876***	0.3876***
DLRElectr	-	-	-	-
DLYpc	0.3822***	0.4676***	0.4676***	0.4676***
LPCO2(-1)	-0.0050	-0.3021***	-0.3021***	-0.3021***
LOilElectr (-1)	0.0006	0.1141***	0.1141***	0.1141***
LRElectr (-1)	0.0001	-0.0119*	-0.0119	-0.0119***
LYpc (-1)	-0.0015	0.1054***	0.1054***	0.1054***
Constante	0.0116	-1.6e+00***	-1.6e+00***	-1.6e+00***
Estatísticas				
N	292	292	292	292
R ²	0.7059	0.7573	0.7573	0.7573
R ² _a	0.6986	0.7394	0.7514	
F	9.7e+01	1.2e+02	7.2e+01	1.2e+02

Nota: ***, ** e * denota valores significativos ao nível de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente; para a obtenção dos valores da tabela 20 foram utilizados os comandos xtreg e xtsc.

Ao contrário dos países em desenvolvimento, as energias renováveis nos países desenvolvidos são aquelas que são menos atraentes, como seria de esperar. Este resultado faz sentido quando os países realizam a gestão dessa variável, numa gestão olhando para frente, mas não numa gestão meticulosa do momento. Os países da OCDE não respondem da mesma maneira em relação as energias renováveis. A eletricidade renovável é aquela que melhor pode ajustar a sua produção e que funciona como uma poupança que se gasta com parcimônia. Ou seja, os

países desenvolvidos conseguem fazer ajustamento na produção ao longo do tempo. Também é importante que se perceba o que cada país produz, pois caso contrário, estar se assumir que os países são iguais, quando na verdade eles não são.

A Tabela 21 apresenta as elasticidades e as semi-elasticidades do modelo. Os resultados indicam que a poluição por emissão de dióxido de carbono nos países da OCDE no curto prazo sofre impactos positivos e significativos, logo crescentes, impulsionados pela produção de energia elétrica de origem fóssil. No longo prazo, a produção de energia elétrica a partir de fonte fóssil continua a produzir impactos positivos sobre as emissões de dióxido de carbono. No entanto, as emissões de CO₂ com a defasagem de um período têm efeitos negativos sobre as emissões atuais de poluentes eventualmente justificada pela maior eficiência energética das novas tecnologias. O PIB tem um comportamento semelhante ao da produção de energia fóssil, pois responde positivamente, mas com menos intensidade do que no curto prazo, o que corresponde a uma redução do crescimento das emissões de poluentes.

Tabela 21. Elasticidades de curto e de longo prazos

Modelos	OLS	FE	FER	FE D-K
Variável dependente = PCO2	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
Semi-elasticidades/ impactos de curto prazo				
Variáveis explicativas	coeficiente	coeficiente	coeficiente	coeficiente
DLOilElectr	0.3837***	0.3876***	0.3876***	0.3876***
DLRElectr	-	-	-	-
DLYpc	0.3822***	0.4676***	0.4676***	0.4676***
Elasticidades/ impactos de longo prazo				
Variáveis explicativas	coeficiente	coeficiente	coeficiente	coeficiente
LOilElectr	0.1049	0.3763***	0.3763***	0.3763***
LRElectr	0.0595	-0.0441*	-0.0441	-0.0441**
LYpc	-0.3091	0.3542***	0.3542***	0.3542***
Velocidade de ajustamento				
Variável	coeficiente	coeficiente	coeficiente	coeficiente
<i>Error correction mechanism (ECM)</i>	-0.0050	-0.3021***	-0.3021***	-0.3021***

Nota: ***, ** e * significativo a 1%, 5% e 10%, respectivamente. O ECM é o coeficiente da variável PCO₂ com uma defasagem. As elasticidades de curto e longo prazos foram obtidas a partir da divisão do coeficiente das variáveis pelo coeficiente de PCO₂ com uma defasagem e multiplicado pelo rácio -1. As variáveis em defasagens (L), bem como as variáveis em primeiras diferenças (D) na equação (5) correspondem às elasticidades e semi-elasticidades do modelo, respectivamente.

Todos os resultados das estimações de longo prazo mostram que as variáveis têm o mesmo comportamento em todos os estimadores. Porém, a variável que representa as energias renováveis tem comportamento assimétrico para mesmos estimadores. Embora, a variável RElectr apresente o sinal negativo demonstrando que ela é importante para reduzir as

emissões ao longo do tempo; note-se que o seu coeficiente só é significativo com o estimador FE e FE D-K o que reforça a ideia de que os modelos indicados pelo teste de *Hausman* são os mais adequados para levar a cabo a nossa análise.

Por sua vez, o valor negativo do ECM demonstra que o desequilíbrio do modelo é corrigido no período seguinte em cerca de 30%. Isso significa que o modelo de países OCDE converge para o equilíbrio de longo prazo com as variáveis utilizadas neste modelação.

4.5. Conclusão

Nesta pesquisa foi analisada a relação entre as emissões de poluentes, a produção de energia elétrica e o crescimento económico em 14 países de alta renda que integram a OCDE. Os dados utilizados são referentes ao período 1990-2011. Os resultados relatados neste trabalho confirmam a evidência empírica de dependência seccional e de não cointegração das variáveis. As emissões de poluentes desfasadas num período influenciam negativamente as emissões diretas de CO₂ e o impacto da produção de energia elétrica fóssil igualmente, e quase na mesma proporção que o crescimento económico (sobre as emissões de poluentes):

As semi-elasticidades - ou impacto de curto prazo - indicaram que a energia fóssil (OilElectr) e o crescimento económico (PIB) respondem positivamente às emissões, sendo o coeficiente do PIB maior do que a eletricidade fóssil.

As elasticidades - ou impacto de longo prazo - indicaram que o coeficiente da energia OilElectr foi ligeiramente maior do que o coeficiente do PIB; A energia elétrica renovável (Relectr) apresentou um sinal negativo; o mecanismo de correção do erro (ECM) confirmou a relação entre as variáveis do modelo e que o desequilíbrio é corrigido para o equilíbrio em cerca de 30% no período seguinte.

Outro aspecto relevante desse resultado é que o desenvolvimento da eletricidade (RElectr), geralmente ainda não competitivo com exceção da hidroelectricidade, só está a ocorrer devido aos estímulos e regulamentos internacionais. Além disso, as estratégias de desenvolvimento das energias renováveis são de iniciativa individual de cada país e isso implica que os países apenas se empenharão na elevação da produção de fontes mais limpas visando a substituição das centrais de produção de eletricidade (OilElectr) se tiverem confiança nas fontes mais limpas e se forem rentáveis. Caso contrário esses países não irão mudar as estratégias energéticas de forma a contrariarem a utilização da energia convencional e favorecerem a adoção de fontes energéticas limpas ou renováveis.

Por outro lado, as energias renováveis como fatores determinantes de redução das emissões são a única alternativa viável a médio/longo prazo para combater as mudanças climáticas. As implicações políticas e económicas de uma mudança da matriz energética de origem fóssil para outra assente em energias mais limpas (energia eólica, solar, e biogás, entre muitas outras) são enormes e carecem de grandes investimentos, quer para a sua implementação, quer para melhorar continuamente a eficiência energética nestes países que por vezes são difíceis de obter e rentabilizar. No sentido de atingir a mitigação das emissões de poluentes a recomendação é de que os países OCDE passem a adotar estratégias de crescimento com base nos preceitos do desenvolvimento sustentável, apoiando investimentos nas energias

renováveis e criando empregos 'verdes'. Só dessa forma se irá conseguir reduzir as emissões de poluentes nos países OCDE e combater eficazmente o aquecimento global que tantos malefícios está a trazer à vida na Terra.

Referências

- Acaravci, A., & Ozturk, I. (2010). On the relationship between energy consumption, CO2 emissions and economic growth in Europe. *Energy*, 35(12), 5412-5420. doi:10.1016/j.energy.2010.07.009
- Al-mulali, U. (2011). Oil consumption, CO2 emission and economic growth in MENA countries. *Energy*, 36(10), 6165-6171. doi:10.1016/j.energy.2011.07.048
- Al-Mulali, U., Lee, J. Y., Hakim Mohammed, A., & Sheau-Ting, L. (2013). Examining the link between energy consumption, carbon dioxide emission, and economic growth in Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 42-48. doi:10.1016/j.rser.2013.05.041
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35, 4772-4778. doi:10.1016/j.enpol.2007.03.032
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2009). CO2 emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, 37(8), 3282-3286. doi:10.1016/j.enpol.2009.03.048
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 32(6), 1421-1426. doi:10.1016/j.eneco.2010.04.006
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. John Wiley & Sons Ltd.
- Bella, G., Massidda, C., & Mattana, P. (2014). The relationship among CO2 emissions, electricity power consumption and GDP in OECD countries. *Journal of Policy Modeling*, 36(6), 970-985. doi:10.1016/j.jpolmod.2014.08.006
- Blackburne, E. F. Frank, M. W. (2007). Estimation of nonstationary heterogeneous panels. *The Stata Journal*, 7(2), 197-208. Retrieved from <http://www.stata-journal.com/article.html?article=st0125>
- Bloch, H., Rafiq, S., & Salim, R. (2012). Coal consumption, CO2 emission and economic growth in China: Empirical evidence and policy responses. *Energy Economics*, 34(2), 518-528. doi:10.1016/j.eneco.2011.07.014
- Bölük, G., & Mert, M. (2015). The renewable energy, growth and environmental Kuznets curve in Turkey: An ARDL approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 587-595. doi:10.1016/j.rser.2015.07.138
- Calbick, K. S., & Gunton, T. (2014). Differences among OECD countries' GHG emissions: Causes and policy implications. *Energy Policy*, 67, 895-902. doi:10.1016/j.enpol.2013.12.030

- Chandran Govindaraju, V. G. R., & Tang, C. F. (2013). The dynamic links between CO2 emissions, economic growth and coal consumption in China and India. *Applied Energy*, 104, 310-318. doi:10.1016/j.apenergy.2012.10.042
- Chang, C.-C. (2010). A multivariate causality test of carbon dioxide emissions, energy consumption and economic growth in China. *Applied Energy*, 87(11), 3533-3537. doi:10.1016/j.apenergy.2010.05.004
- Cheng, B. S. (1997). Energy consumption and economic growth in Brazil, Mexico and Venezuela: a time series analysis. *Applied Economics Letters*, 4(11), 671-674. doi:10.1080/758530646
- Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20(2), 249-272. doi:10.1016/S0261-5606(00)00048-6
- Costantini, V., & Martini, C. (2010). The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*, 32(3), 591-603. doi:10.1016/j.eneco.2009.09.013
- Cowan, W. N., Chang, T., Inglesi-Lotz, R., & Gupta, R. (2014). The nexus of electricity consumption, economic growth and CO2 emissions in the BRICS countries. *Energy Policy*, 66, 359-368. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.081
- Dincecco, M. (2010). The Political Economy of Fiscal Prudence in Historical Perspective. *Economics & Politics*, 22(1), 1-36. doi:10.1111/j.1468-0343.2009.00349.x
- Dinda, S., & Coondoo, D. (2006). Income and emission: A panel data-based cointegration analysis. *Ecological Economics*, 57, 167-181. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.03.028
- Dogan, E. (2015). The relationship between economic growth and electricity consumption from renewable and non-renewable sources: A study of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 534-546. doi:10.1016/j.rser.2015.07.130
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560. doi:10.1162/003465398557825
- Farhani, S., & Shahbaz, M. (2014). What role of renewable and non-renewable electricity consumption and output is needed to initially mitigate CO2 emissions in MENA region? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 80-90. doi:10.1016/j.rser.2014.07.170
- Fuinhas, J. A., & Marques, A. C. (2012). Energy consumption and economic growth nexus in Portugal, Italy, Greece, Spain and Turkey: An ARDL bounds test approach (1965-2009). *Energy Economics*, 34(2), 511-517. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.003
- Fuinhas, J. A., Marques, A. C., & Couto, A. P. (2015). Oil rents and economic growth in oil producing countries: evidence from a macro panel. *Economic Change and Restructuring*. doi:10.1007/s10644-015-9170-x

- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: A multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008-3014. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.040
- Gurgul, H., & Lach, Ł. (2012). The electricity consumption versus economic growth of the Polish economy. *Energy Economics*, 34(2), 500-510. doi:10.1016/j.eneco.2011.10.017
- Halicioglu, F. (2009). An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37, 1156-1164. doi:10.1016/j.enpol.2008.11.012
- Hamit-Hagggar, M. (2012). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective. *Energy Economics*, 34(1), 358-364. doi:10.1016/j.eneco.2011.06.005
- Hausman, J. McFadden, D. (1984). Specification Tests for the Multinomial Logit Model. *Econometrica*, 52(5), 1219-1240. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/1910997>
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., Judge, G. G. (2012). *Principles of Econometrics*. Edition, International Student.
- Hoehle, D. (2007). Robust standard errors for panel regressions with cross-sectional dependence. *Stata Journal*, 7(3), 281-312. doi:The Stata Journal
- Hsião, C. (2014). *Analysis of Panel Data*. Econometric Society Monographs, Paperback, (3rd ed).
- Huang, W. M., Lee, G. W. M., & Wu, C. C. (2008). GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Energy Policy*, 36(1), 239-247. doi:10.1016/j.enpol.2007.08.035
- IEA. (2015). *Key Renewables Trends Excerpt from: Renewable Information (2015 edition)*. Retrieved from http://www.iea.org/bookshop/668-Renewables_Information_2015
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53-74. doi:10.1016/S0304-4076(03)00092-7
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Paris. Retrieved from http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_t_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- Jahangir Alam, M., Ara Begum, I., Buysse, J., & Van Huylenbroeck, G. (2012). Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: Cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*, 45, 217-225. doi:10.1016/j.enpol.2012.02.022
- Jalil, A., & Mahmud, S. F. (2009). Environment Kuznets curve for CO2 emissions: A

- cointegration analysis for China. *Energy Policy*, 37(12), 5167-5172. doi:10.1016/j.enpol.2009.07.044
- Jebli, M. Ben, Youssef, S. Ben, & Ozturk, I. (2016). Testing environmental Kuznets curve hypothesis: The role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries. *Ecological Indicators*, 60, 824-831. doi:10.1016/j.ecolind.2015.08.031
- Jiranyaku, K. (2014). Casual linkages between electricity consumption and GDP in Thailand: evidence from the bounds test. Retrieved from http://mpa.ub.uni-muenchen.de/60625/1/MPRA_paper_60625.pdf
- Lean, H. H., & Smyth, R. (2010). CO2 emissions, electricity consumption and output in ASEAN. *Applied Energy*, 87(6), 1858-1864. doi:10.1016/j.apenergy.2010.02.003
- Lee, C.-C. (2005). Energy consumption and GDP in developing countries: A cointegrated panel analysis. *Energy Economics*, 27(3), 415-427. doi:10.1016/j.eneco.2005.03.003
- Levin, A., Lin, C.-F., & James Chu, C.-S. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1-24. doi:10.1016/S0304-4076(01)00098-7
- Lotfalipour, M. R., Falahi, M. A., & Ashena, M. (2010). Economic growth, CO2 emissions, and fossil fuels consumption in Iran. *Energy*, 35(12), 5115-5120. doi:10.1016/j.energy.2010.08.004
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 631-652. doi:10.1111/1468-0084.0610s1631
- Mahadevan, R., & Asafu-Adjaye, J. (2007). Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries. *Energy Policy*, 35(4), 2481-2490. doi:10.1016/j.enpol.2006.08.019
- Mehrara, M. (2007). Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*, 35(5), 2939-2945. doi:10.1016/j.enpol.2006.10.018
- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010a). CO2 emissions, nuclear energy, renewable energy and economic growth in the US. *Energy Policy*, 38(6), 2911-2915. doi:10.1016/j.enpol.2010.01.024
- Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010b). Energy consumption, pollutant emissions and economic growth in South Africa. *Energy Economics*, 32(6), 1374-1382. doi:10.1016/j.eneco.2010.08.002
- Narayan, P. K., Narayan, S., & Prasad, A. (2008). A structural VAR analysis of electricity consumption and real GDP: Evidence from the G7 countries. *Energy Policy*, 36(7), 2765-2769. doi:10.1016/j.enpol.2008.02.027
- Niu, S., Ding, Y., Niu, Y., Li, Y., & Luo, G. (2011). Economic growth, energy conservation and

- emissions reduction: A comparative analysis based on panel data for 8 Asian-Pacific countries. *Energy Policy*, 39(4), 2121-2131. doi:10.1016/j.enpol.2011.02.003
- Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: A panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138-1147. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.016
- Pao, H. T. (2009). Forecast of electricity consumption and economic growth in Taiwan by state space modeling. *Energy*, 34(11), 1779-1791. doi:10.1016/j.energy.2009.07.046
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850-7860. doi:10.1016/j.enpol.2010.08.045
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2011). Modeling and forecasting the CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in Brazil. *Energy*, 36(5), 2450-2458. doi:10.1016/j.energy.2011.01.032
- Pao, H.-T., Yu, H.-C., & Yang, Y.-H. (2011). Modeling the CO2 emissions, energy use, and economic growth in Russia. *Energy*, 36(8), 5094-5100. doi:10.1016/j.energy.2011.06.004
- Papachristos, G. (2015). Household electricity consumption and CO2 emissions in the Netherlands: A model-based analysis. *Energy and Buildings*, 86, 403-414. doi:10.1016/j.enbuild.2014.09.077
- Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(S1), 653-670. doi:10.1111/1468-0084.0610s1653
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis: new results, 597-625.
- Persyn, D., & Westerlund, J. (2008). Error-correction-based cointegration tests for panel data. *Stata Journal*, 8(2), 232-241. doi:The Stata Journal
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22, 1-38. doi:10.1002/jae
- Phillips, P.C.B, Perron, P., 1988. (1998). Testing for a unit root in time series regressions. *Biometrika*, 75, 335-346.
- Poumanyong, P., & Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434-444. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.09.029
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). (2015). Renewable 2015 Global Status Report. REN21. Paris: REN21 Secretariat. Retrieved from <http://www.ren21.net/status-of-renewables/regional-status-reports/>
- Saboori, B., & Sulaiman, J. (2013). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) countries: A cointegration approach.

Energy, 55, 813-822. doi:10.1016/j.energy.2013.04.038

- Salahuddin, M., Gow, J., & Ozturk, I. (2015). Is the long-run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf Cooperation Council Countries robust? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 317-326. doi:10.1016/j.rser.2015.06.005
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147-162. doi:10.1006/jeem.1994.1031
- Shafiei, S., & Salim, R. a. (2014). Non-renewable and renewable energy consumption and CO2 emissions in OECD countries: A comparative analysis. *Energy Policy*, 66, 547-556. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.064
- Shahbaz, M., Sbia, R., Hamdi, H., & Ozturk, I. (2014). Economic growth, electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in United Arab Emirates. *Ecological Indicators*, 45, 622-631. doi:10.1016/j.ecolind.2014.05.022
- Soimakallio, S., & Saikku, L. (2012). CO2 emissions attributed to annual average electricity consumption in OECD (the Organisation for Economic Co-operation and Development) countries. *Energy*, 38(1), 13-20. doi:10.1016/j.energy.2011.12.048
- Soytas, U., & Sari, R. (2009). Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: Challenges faced by an EU candidate member. *Ecological Economics*, 68(6), 1667-1675. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.06.014
- Soytas, U., Sari, R., & Ewing, B. T. (2007). Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*, 62, 482-489. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.07.009
- Squalli, J. (2007). Electricity consumption and economic growth: Bounds and causality analyses of OPEC members. *Energy Economics*, 29(6), 1192-1205. doi:10.1016/j.eneco.2006.10.001
- Stern, D. I. (2003). The Environmental Kuznets Curve. *International Society for Ecological Economics Internet Encyclopaedia of Ecological*, 11. doi:10.1080/1350485042000207216
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24(7), 1151-1160. doi:10.1016/0305-750X(96)00032-0
- Wang, S. S., Zhou, D. Q., Zhou, P., & Wang, Q. W. (2011). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 39(9), 4870-4875. doi:10.1016/j.enpol.2011.06.032
- Weisser, D. (2007). A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, 32(9), 1543-1559. doi:10.1016/j.energy.2007.01.008

- Westerlund, J. (2007). Testing for Error Correction in Panel Data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 69(6), 709-748. doi:10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x
- World Bank. (2007). Growth and CO2 Emissions How Do Different Countries Fare? Retrieved from <http://siteresources.worldbank.org/INTCC/214574-1192124923600/21511758/CO2DecompositionfinalOct2007.pdf>
- Zhang, M., Liu, X., Wang, W., & Zhou, M. (2013). Decomposition analysis of CO2 emissions from electricity generation in China. *Energy Policy*, 52, 159-165. doi:10.1016/j.enpol.2012.10.013
- Zhang, X.-P., & Cheng, X.-M. (2009). Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2706-2712. doi:10.1016/j.ecolecon.2009.05.011

Capítulo 5

Ensaio 3 - Energia renovável e emissões de gases com efeito de estufa do setor de resíduos dos Estados da UE: uma análise com base em dados de painel

5.1. Introdução

A recente aceitação da necessidade de se gerir os recursos naturais e o meio ambiente de forma sustentável tem demonstrado para a sociedade do século XXI aspectos fundamentais inerentes ao equilíbrio da relação dos seres humanos com a natureza. Vários estudos têm provado que o desenvolvimento económico tem conduzido a impactos ambientais negativos, impondo à sociedade moderna o grande desafio de reduzir as emissões de poluentes (GEE) associadas às atividades humanas e económicas.

De entre as ações globais aconselhadas, tem-se a mitigação das emissões de gás de efeito estufa (GEE). E de entre as ações aos níveis regional e local, a redução da quantidade de resíduos descartados, pois o aumento de resíduos tem gerado preocupações do ponto de vista sanitário e económico com elevado impacto político, social e ambiental (Teixeira et al., 2014; Antonioli e Massarutto, 2012; Sjöström e Östblom, 2010; Shmelev e Powell, 2006). Além disso, o setor de resíduos como fonte de emissão de GEE a nível global tem contribuído significativamente para as alterações climáticas (Seigné Itoiz et al., 2013) e atravessa grandes incertezas uma vez que a geração de resíduos continua a crescer proporcionalmente com a renda per capita (European Environment Agency, 2013; Mazzanti e Zoboli, 2008).

A gestão dos resíduos envolve a deposição em aterro sanitário que pode degradar o meio ambiente além de emitir gás metano (CH₄) poderoso gás de efeito estufa que é 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono (CO₂) na capacidade de reter calor na atmosfera terrestre. Enquanto que a incineração de resíduos emite dioxinas e material químico particulado, impondo ao gerenciamento de resíduos o grande desafio de promover o desenvolvimento sustentável deste setor (Tan et al., 2014). A gestão adequada dos resíduos envolve o controle das emissões atmosféricas e efluentes líquidos dos aterros sanitários, a coleta de lixo, o transporte e o tratamento dos resíduos (Tan et al., 2014).

Em termos de políticas voltadas para resolver o problema de resíduos na UE a Diretiva de Aterros 99/32/CE estabeleceu metas de redução da quantidade de resíduos destinados aos aterros e a Diretiva de Resíduos 2008/98/CE chamou a atenção para a hierarquia dos resíduos voltada para a prevenção, reutilização e reciclagem como por exemplo, a recuperação de energias dos resíduos (*Energy from waste - EFW*) (Monni, 2012), sendo a energia de resíduos reconhecidamente uma boa alternativa para superar o problema da geração de resíduos e valiosa fonte de energia renovável (Tan et al., 2014).

Neste âmbito, apesar do efeito positivo das políticas europeias nas últimas duas décadas ter conduzido a uma redução significativa da quantidade de resíduos em aterros sanitários e de ter aumentado o nível de tratamento, alguns estudos têm vindo a demonstrar alguma inconsistência de alguns resultados, concluindo-se que a eliminação de resíduos não está totalmente resolvida e que são precisos mais estudos para ajudar a fechar este ciclo (Magrinho et al., 2006). Além disso, é necessário orientar as estratégias da gestão de resíduos em simultâneo com a mitigação de GEE para ajudar a alcançar as metas de redução de poluentes no horizonte 2020 (EEA-European Environment Agency, 2013).

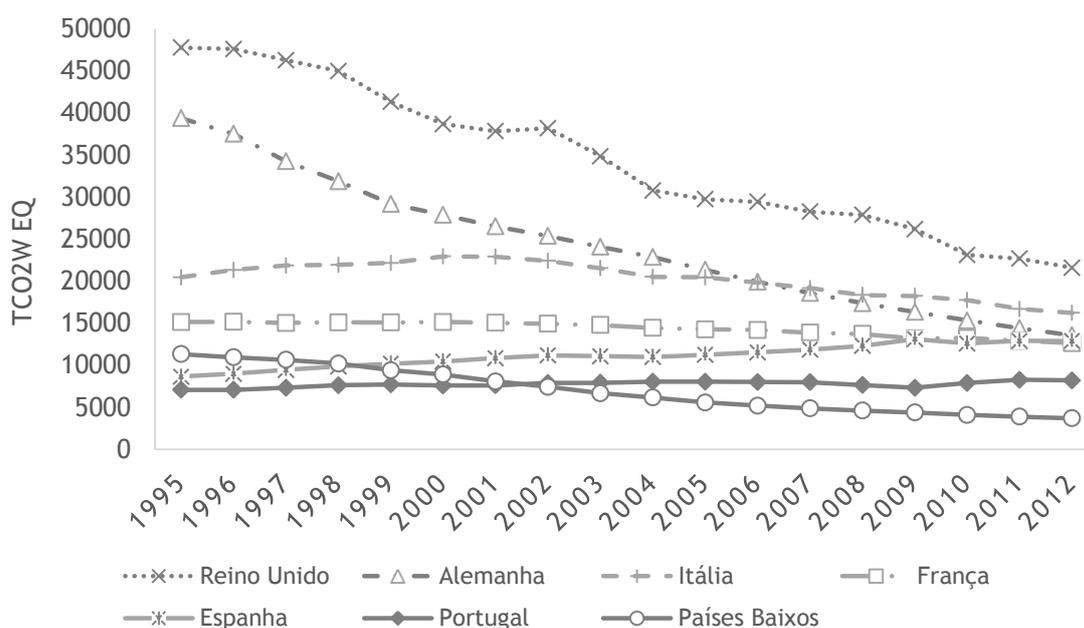
Para examinar empiricamente este quadro esta pesquisa utiliza um modelo com abordagem de dados em painel que a literatura tem referido ter diversas vantagens em relação à metodologias que usam apenas dados seccionais/de corte transversal ou séries temporais, sendo o controle da heterogeneidade entre os países uma das vantagens (Hsião, 2014; Hill et al., 2012; Baltagi, 2005). Acredita-se que adicionar novos elementos as pesquisas sobre os resíduos sólidos é fundamental para ajudar os decisores políticos na elaboração de políticas ambientais adequadas tanto para o setor de tratamento (gestão de resíduos/aterro sanitário/reciclagem/compostagem/incineração e conversão de resíduos em energia), quanto para os *stakeholders* na preparação e tomada de decisões políticas para combater o aquecimento global e os problemas relacionados com a eliminação de resíduos.

O restante do capítulo está organizado da seguinte forma. Na seção 5.2 são apresentados alguns indicadores relativos à geração de resíduos, emissão de GEE, métodos de tratamentos e uma breve revisão atualizada da literatura. Na seção 5.3 apresenta-se a metodologia e alguns resultados empíricos preliminares. Na seção 5.4 os resultados da estimação e a discussão. E por fim, na última seção 5.5 conclui-se apresentando uma síntese dos resultados mais importante da pesquisa e propondo algumas medidas de política ambiental que possam ajudar a resolver o problema da emissão de GEE e o aquecimento global através do recurso aos resíduos ambientais gerados pela economia e pela sociedade em geral.

5.2. Indicadores de geração de resíduos, emissão de GEE e medidas de tratamentos

O setor de resíduos emite três tipos de gases poluentes, dióxido de carbono (CO₂), gás metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), para além de três gases fluorados (hidrofluorcarbonos (HFC's), perfluorcarbonos (PFC's) e hexafluoreto de enxofre (SF₆)) (Eurostat, 2014; IPCC, 2006). As emissões de GEE globais do setor de resíduos giram entre 5,5 e 6,4% do total de emissões (Zuberi e Ali, 2015). A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (UNFCCC) reporta essas emissões consoante os tratamentos que lhes são aplicados: (i) deposição em aterros sanitários; (ii) incineração e (iii) reciclagem de materiais⁶ (Hoornweg e Bhada-Tata, 2012; Eurostat, 2014). As Figuras 4 e 5 fazem a demonstração da evolução das emissões de GEE medidos em CO₂ eq. (milhares de toneladas) no período 1995-2012.

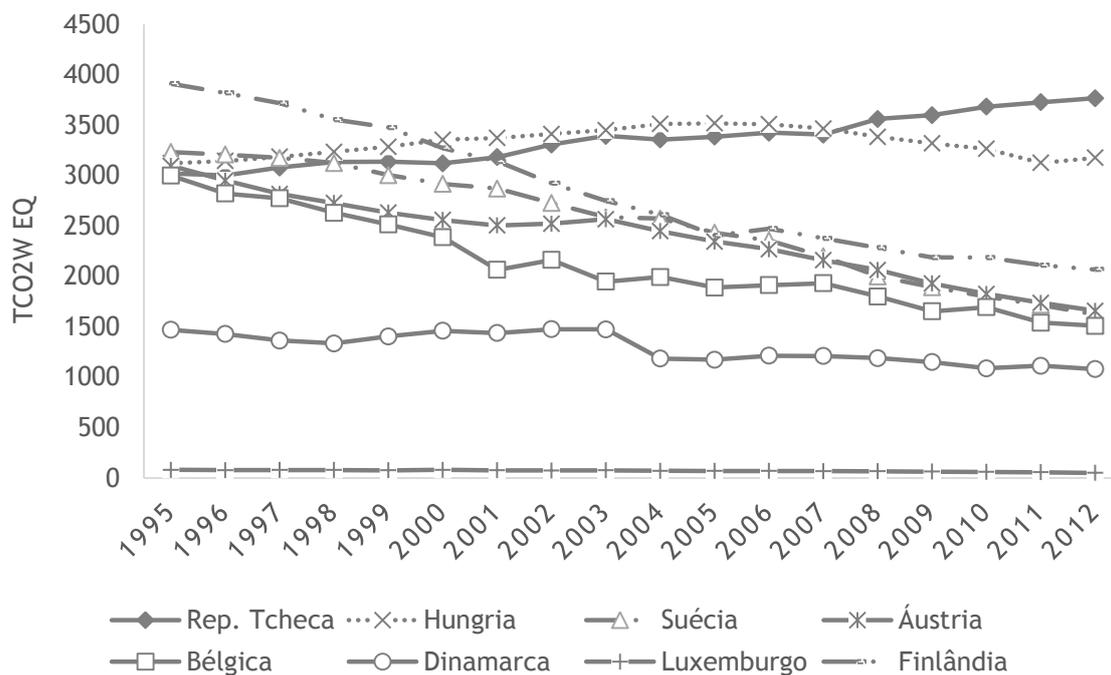
Figura 4. GEE do setores de resíduos dos sete maiores emissores do painel



Fonte: Eurostat (2014)

⁶ Referem-se a reciclagem de materiais orgânicos e inorgânicos (Eurostat, 2014)

Figura 5. GEE dos setores de resíduos, países com menores emissões do painel



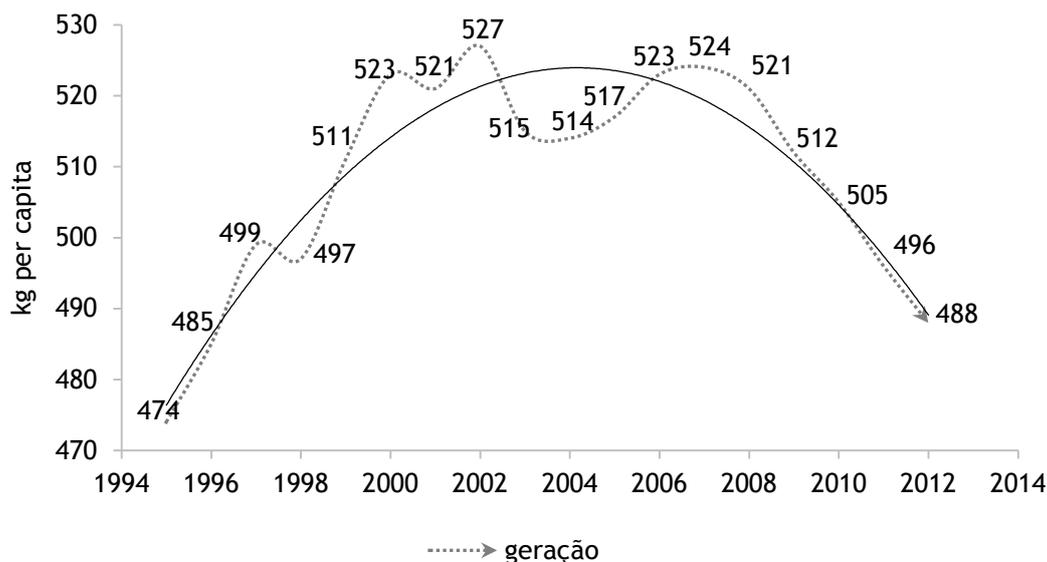
Fonte: Eurostat (2014)

Foi a partir das duas últimas décadas que se aceitou que os resíduos eram um grande problema e que desencadeou a implementação de diversos planos estratégicos para a gestão de resíduos em vários países desenvolvidos - em especial na EU (European Environment Agency, 2013; Friedrich e Trois, 2013). Os países tiveram que se adequar às novas normas e metas obrigatórias incluídas no pacote energético e climático aprovado pela UE: a redução de 20% das emissões de GEE em relação aos níveis de 1990 (European Commission, 2012), e a execução de 20% de uso de fontes de energia renovável com medidas concretas para eletricidade, aquecimento e arrefecimento e setores de biocombustíveis (www.resaping-res-policy.eu, 2015).

Neste contexto, o setor de resíduos tem recebido especial atenção, nomeadamente no que diz respeito à melhoria da eficiência de gestão e à capacidade de tratamento (Eurostat, 2014; Mazzanti e Zoboli, 2008). Neste sentido a UE tem tornado prioritária uma agenda política concentrada no fortalecimento do setor de resíduos combinando tecnologia, reconversão e valorização dos resíduos sólidos em recursos renováveis com a finalidade de gerar benefícios por meio da sua conversão em energia e, assim, ajudar e resolver parte do problema relacionado com a sua eliminação (Teixeira et al., 2014).

A figura 6 faz a demonstração da evolução da intensidade da geração de resíduos na UE-27 entre os anos de 1995-2012.

Figura 6. Intensidade de geração de resíduos na UE-27



Fonte: Eurostat (2014)

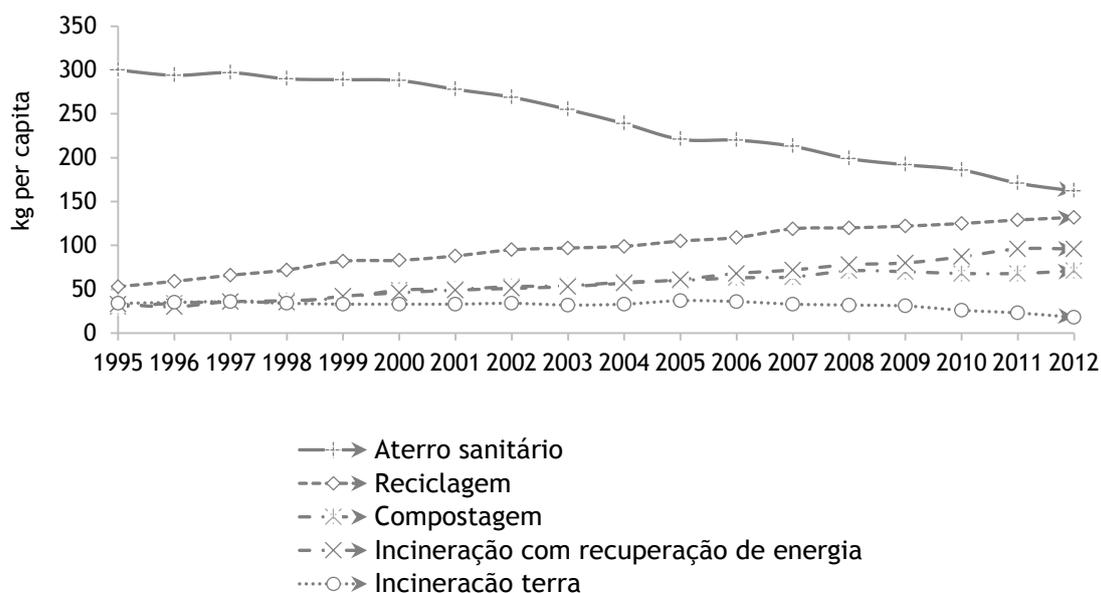
A Europa é considerada o berço das tecnologias de recuperação de energia para a produção de combustíveis renováveis (Pirotta et al., 2013; Raj et al., 2011). O gás metano é fonte energética valiosa que movimenta ou faz funcionar vários processos industriais para produzir eletricidade, entre outros usos (Zuberi e Ali, 2015; Noor et al., 2013). De acordo com as diretrizes do Painel Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC, 2006), o gás que é produzido a partir de resíduos gerados pela economia causa tanto a emissão de metano, como a de dióxido de carbono, e dá origem ao gás de aterro, sendo este gás a principal matéria-prima para a geração de energia renovável.

No entanto, na UE as emissões de GEE associadas aos métodos de tratamentos - deposição em aterro, incineração e reciclagem de materiais -, representam 95%, 3% e 2% respectivamente (Eurostat, 2014). Ao longo das duas últimas décadas foram levados a cabo tratamentos impulsionados pelas Diretivas 94/62/CE relativas às embalagens, 99/32/CE relativa aos aterros e 08/98/CE relativa aos resíduos, que impactaram significativamente nos resíduos descartados e destinados aos aterros e no gás metano de resíduos orgânicos; além disso,

houve aumentos significativos na reciclagem de resíduos inorgânicos (European Environment Agency, 2013; Monni, 2012).

A Figura 7 apresenta a evolução da intensidade de tratamento de resíduos na UE-27 entre 1995-2012.

Figura 7. Intensidade de tratamento de resíduos na UE-27



Fonte: Eurostat (2014)

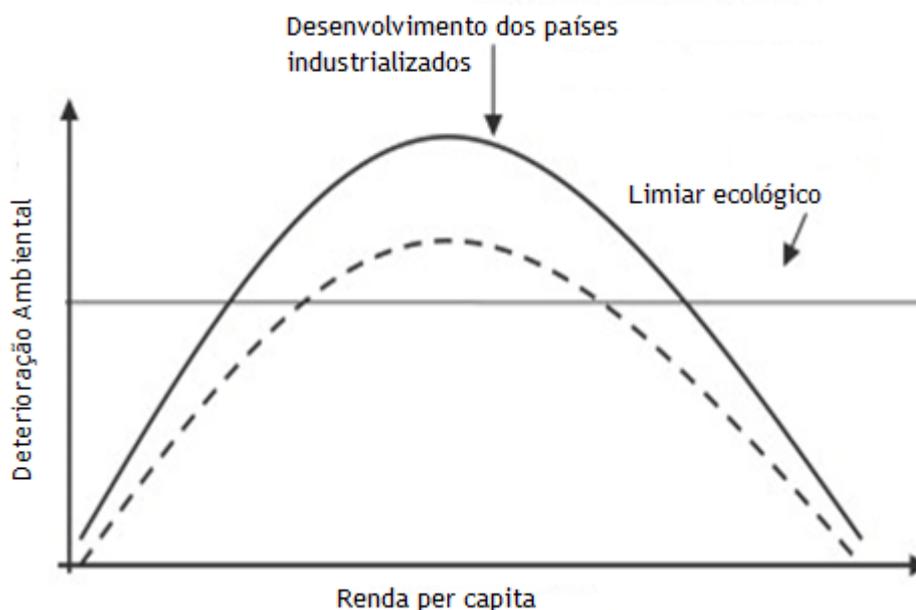
Apesar das metas globais da UE ter realizado esforços para resolver o problema da eliminação de resíduos no seu espaço, alguns países terão que fazer grandes esforços. São os casos de Chipre, Estónia, Grécia, Hungria, Malta, Polónia e Portugal que necessitam de aumentar a taxa de reciclagem anual entre 2% e 4% até 2020. Apenas quatro países da UE-27 (Áustria, Bélgica, Alemanha e Países Baixos) no período entre 2001 e 2010 conseguiram as taxas de reciclagem exigidas. A situação é mais complicada para outros cinco países da UE-27 (Bulgária, Letónia, Lituânia, Romênia e Eslováquia) que terão que melhorar as suas taxas de reciclagem para valores acima de 4% ao ano até 2020 (European Environment Agency, 2013).

A transformação dos resíduos em energia renovável é fundamental devido ao aumento da procura de energia elétrica na economia, sendo a entalpia deles resultante mais uma alternativa para aumentar sua disponibilidade (Sadorsky, 2009). Esse debate é relevante no âmbito da substituição de fontes energéticas para mitigar parte dos problemas relacionados com resíduos, tendo a reciclagem de resíduos como fonte energética alternativa que além de

atuar como poupadora de matérias-primas escassas reduz as emissões de GEE da produção primária (European Environment Agency, 2013).

A literatura tem demonstrado que a experiência inicial de desenvolvimento dos países tem produzido lixo e emissões de GEE (Granados e Carpintero, 2009). A linha contínua da figura 8 demonstra as experiências dos países com a degradação ambiental através da curva de Kuznets Ambiental (CKA) (Pérez-Suárez e López-Menéndez, 2015; Huang et al., 2008). Segundo David I. Stern (2003) a CKA pode ser entendida como relação hipotética entre vários indicadores de degradação ambiental e renda ou rendimento per capita. Nesta as fases iniciais de crescimento causam degradação devido ao aumento da poluição, mas para além de algum nível de renda per capita (que pode variar para diferentes indicadores) a tendência inverte, de modo que o indicador de impacto ambiental é uma função em U-invertido associado à renda per capita. Portanto, os demais países podem tirar lições baseadas nas experiências prejudiciais do passado e construir arranjos económicos e institucionais para conseguir um caminho mais suave (linha pontilhada) com a finalidade de evitar a degradação ambiental para além do limite ecológico (linha horizontal) (Huang et al., 2008).

Figura 8. Curva de Kuznets Ambiental



Fonte: Huang et al. (2008)

De acordo com Maddison (2006), os estudos sobre a CKA assumem que se os coeficientes estimados forem significativos e tiverem os sinais esperados, então fica confirmado que existe uma relação de acordo com a CKA. Embora boa parte da literatura desenvolvida em volta da

CKA e Resíduos (CKA-W) se limite a verificar a existência do U-invertido, alguns resultados encontrados por Andersen et al. (2007), por exemplo, dão a indicação que a problemática da poluição por resíduos é bem mais complexa do que se imagina pois, essas questões têm mais consistência em torno de uma CKA-W no formato de N do que na forma tradicional U-invertido (Mazzanti e Zoboli, 2008). Contudo, essa parte da literatura relacionada com as pesquisas sobre resíduos é pouco explorada. Por exemplo, Rothman (1998) relata que não encontrou evidência empírica de associação da redução de resíduos ou da degradação por emissões de resíduos com o aumento da renda per capita, tendo ainda afirmado que a evidência de U-invertido no setor de resíduos só se aplica a um determinado número específico de casos.

Neste sentido, as pesquisas inventariadas na literatura sobre CKA-W estão basicamente segmentadas em dois subgrupos, sendo o primeiro grupo formado por pesquisas cujas análises usam dados seccionais (*cross-section*) e cronológicos (*time-series*). Por exemplo, Beede e Bloom (1995) exploraram informações sobre a geração de resíduos com os dados estruturados nas duas formas citadas para 36 países. Os resultados revelaram que a geração de resíduos está positivamente associada a uma CKA, e que é inelástica com a renda per capita, e elástica com o tamanho populacional. Berrens et al. (1997) usando apenas dados *cross-section* ao nível de um único país e apenas os resíduos perigosos juntou evidência empírica compatível com a hipótese CKA frisando que a relação das variáveis para a formação da curva em U invertido levava a diversas interpretações.

O segundo grupo é composto por pesquisas que recorrem a dados de painel. Uma das grandes vantagens da análise estruturada sob esta forma reside no fato de ela permitir a expansão ou aumento do número de observações ao reunir dados *times-series* e *cross-section* simultaneamente, o que torna a análise mais robusta estatisticamente por expandir o número de graus de liberdade e a sua eficiência, ao contrário das pesquisas que usam apenas dados temporais e/ou apenas dados transversais, sendo que os resultados variam de acordo com amostragem, a temporalidade e as técnicas econométricas empregadas (Ozcan, 2013; Pao e Tsai, 2010; Baltagi, 2005).

Um dos primeiros trabalhos utilizando os resíduos como indicador de qualidade ambiental com recurso a este tipo de dados foi realizado por Cole et al. (1997); estes autores iniciaram os estudos sobre CKA-W adotando como variável dependente os resíduos perigosos e poluentes gerados e os resultados demonstraram que, de entre um amplo conjunto de indicadores ambientais de países da OCDE, a CKA era significativa apenas para as emissões de resíduos gasosos, não sendo possível identificar o U invertido para os resíduos orgânicos e inorgânicos (resíduos urbanos).

Embora, alguns estudos apontem medidas de crescimento e consumo utilizadas para avaliar os níveis de poluição, como por exemplo Rothman (1998), há casos em que a tendência de redução da poluição em função do rendimento não está bem definida, sendo um exemplo

desses os resíduos urbanos e isto pelas seguintes razões: primeiro, por se tratar de impactos ambientais locais e de exteriorização fácil; e segundo, por estar associado a custos elevados para o seu controle. Nesse sentido, segundo Stern et al. (1996) e Ekins (1997), autores que apresentam uma revisão sistemática e detalhada da literatura sobre CKA e ainda Rothman (1998), a maioria das condições ambientais que não melhoram com o crescimento económico deve-se ao fato de os seus efeitos negativos serem restritos apenas a grupos sociais específicos.

Gawande et al. (2000), ao relacionar a migração interna nos EUA e os locais para depósitos de resíduos perigosos, encontraram evidência empírica a favor de uma CKA-W a partir do movimento de famílias ricas que se afastaram dos locais de poluição (aterros). Seppälä et al. (2001) também empregando dados de painel não encontraram evidência empírica de CKA-W para fluxos materiais de cinco países industrializados com base em dados do período 1970 e 1994. Por sua vez, Johnstone e Labonne (2004) utilizaram um conjunto de informações sobre países da OCDE associando à taxa de geração de resíduos urbanos, variáveis económicas e demográficas obtiveram evidência a favor da CKA-W.

Em função do que se disse se conclui que a investigação sobre CKA-W ainda não está bem esclarecida na literatura, razão pela qual esta pesquisa estende a análise no sentido de averiguar a compatibilidade entre as variáveis do setor de resíduos e a presença da CKA-W. Conforme afirmado por Cole et al. (2005), a intensidade de poluição é uma função positiva do uso de energia e intensidade de capital natural/material na economia, sendo as energias renováveis provenientes de resíduos simultaneamente fontes de energia e de mitigação de resíduos sólidos e gasosos.

5.3. Metodologia e Dados

A forma de enquadramento em relação ao escopo da pesquisa e as técnicas econométricas disponíveis na literatura apontam para uma variedade de procedimentos econométricos utilizados para identificar a CKA (Harbaugh et., 2002). As relações entre meio ambiente e o desenvolvimento económico podem ser obtidas a partir de três tipos de especificações sobre a hipótese CKA (Baek, 2015). As formas gerais das equações são geralmente expressas como seguem:

$$P_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Z_t + \varepsilon_t \quad (5.1)$$

onde P é a *proxy* designada para representar a poluição ambiental per capita, Y representa a renda per capita, Z_t representa fatores externos como por exemplo a tecnologia ou características regionais de cada indivíduo ou país, e ε_t é o termo de erro supostamente com média nula e variância constante. Se $\beta_1 > 0$, pode-se dizer que qualquer aumento da renda per capita produz um aumento linear da poluição. No entanto, se $\beta_1 < 0$ a relação seria monotonamente decrescente. Em ambos casos, a relação só é válida se os coeficientes forem estatisticamente significantes.

No segundo caso, equação (5.2):

$$P_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + Z_t + \varepsilon_t \quad (5.2)$$

em que a CKA pode ser obtida quando $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, isso quer dizer que o aumento da poluição junto com o aumento da renda na fase inicial de desenvolvimento pode eventualmente sofrer uma redução a partir de um ponto de inflexão causado pela renda em um determinado momento (Baek, 2015). Em outras palavras, o ponto de inflexão é obtido a partir do ajustamento feito pela primeira e segunda derivada em relação a renda, formando uma curva em U-invertido.

Como existe uma gama de procedimentos econométricos testando a hipótese CKA a inclusão do termo cúbico pode ser interessante para o pesquisador conseguir obter maior flexibilidade para a modelagem (Torrás e Boyce, 1998). Ao utilizar a equação 3 os resultados podem sugerir que a função apresente uma CKA na forma de N, desde que sejam obedecidos alguns critérios (Pérez-Suárez e López-Menéndez, 2015; Baek, 2015).

$$P_t = \beta_0 + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \beta_3 Y_t^3 + Z_t + \varepsilon_t \quad (5.3)$$

Neste caso, se $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ e $\beta_3 > 0$, tal relação entre a poluição e a renda per capita pode ser obtida. Mas, se os coeficientes tiverem os sinais invertidos $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$ e $\beta_3 < 0$, pode ser identificado um formato em forma de S (Hervieux e Darn, 2013; Huang et al., 2008; Pérez-Suárez e López-Menéndez, 2015; Baek, 2015).

Neste sentido, caso o termo quadrado da renda não identificar U-invertido, o termo cúbico poderá auxiliar na indicação da verdadeira situação dos diversos fatores que contribuem para a degradação ambiental. Adotar este procedimento pode esclarecer muitas dúvidas em volta da CKA-W sobre a especificação do modelo. Inclusive, dependendo dos resultados, a análise pode indicar que o setor económico não está conseguindo solucionar o problema, demonstrando haver questões até mais graves se o mercado não estiver sob uma regulação ambiental adequada.

Dessa forma, as emissões de GEE do setor de resíduos de 15 países selecionados da UE em função de variáveis económicas, ambientais e energéticas do próprio setor podem ser modeladas utilizando um painel balanceado ou não. O modelo de regressão para examinar o impacto desses indicadores com base no modelo conceitual da CKA-W pode ser escrito da seguinte forma:

$$CO_2W_{it} = \alpha_i + \beta_1 T_{it} + \beta_2 Landfill_{it} + \beta_3 Cren_{it} + \beta_4 EfW_{it} + \beta_5 Y_{it} + \beta_6 (Y_{it})^2 + \beta_7 (Y_{it})^3 + \varepsilon_{it} \quad (5.4)$$

onde $i = 1, 2, \dots, N$ representa o i -ésimo país no painel, $t = 1, 2, \dots, T$ (*trend*), o período de tempo, CO_2W_{it} a emissão total de GEE do setor de resíduos, em milhares de tCO₂ eq per capita; $Landfill_{it}$ a quantidade de resíduos depositada em aterro sanitário, em kg per capita/ano; $Cren_{it}$ a quota de combustível renovável extraída de resíduos, em percentagem de consumo de energia total, correspondente a biomassa sólida e líquida, resíduos industriais e resíduos urbanos; EfW_{it} é eletricidade gerada de resíduos em Gwh; Y_{it} é o PIB real per capita, e os termos do PIB real ao quadrado Y_{it}^2 e cúbico Y_{it}^3 medidos em dólares constantes de 2005; ε_{it} é o termo de erro supostamente com média nula e variância constante.

A tendência T determinística foi incluída no modelo de forma que esta *proxy* torne na devida conta especificamente o desenvolvimento tecnológico (Fredriksson e Vollebergh, 2009), e outros fatores externos como os resíduos gerados por todos os países do painel bem como o período de análise. Os dados sobre emissões de GEE do setor de resíduos transformados em CO₂W eq, deposição em aterro (*Landfill*) e a geração de eletricidade de resíduos (*EfW*) foram recolhidos da base de dados do Eurostat, enquanto que os dados referentes ao PIB real per

capita (Y) e os combustíveis renováveis ($Cren$) foram obtidos a partir do *World Development Indicators* (WDI) do Banco Mundial.

Para o parâmetro β_1 é esperado sinal negativo em função do progresso tecnológico atuar para inibir as emissões durante o período de tempo. O Parâmetro β_2 é esperado um sinal positivo, enquanto que para o parâmetro β_3 é esperado um sinal negativo. Ou seja, se houver um aumento da quantidade de resíduos nos aterros, as emissões de GEE terão impacto positivo; em contrapartida, se houver um aumento do consumo de combustíveis renováveis, as emissões de GEE serão reduzidas; para o parâmetro β_4 é esperado um sinal positivo, pois a geração de eletricidade produz alguma emissão líquida de GEE, mas inferior ao da produção de eletricidade usando combustíveis fósseis. A interpretação dos demais parâmetros do modelo segue conforme especificações das equações gerais (1), (2) e (3) sobre a CKA.

5.3.1. Amostragem e período de análise

O número de países e de períodos temporais a que dizem respeito os dados estatísticos usados nas estimações foram determinados pela disponibilidade de informações nas bases de dados utilizadas. O leque de países da amostra inclui Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Hungria, Itália, Luxemburgo, Países Baixos, Portugal, Reino Unido, República Checa e a Suécia. Os demais países da UE foram excluídos da amostra porque apresentaram dados inconsistentes para a variável geração de eletricidade a partir de resíduos. O período temporal dos dados cobre os anos entre 1999-2012 para República Tcheca e Portugal, 1996-2012 para a Finlândia e 1995-2012 para o resto dos países do painel. Com exceção da variável $Cren$ (consumo de energia renovável) que está expressa em percentagem, todas as demais séries estão expressas em unidades físicas na forma per capita. Além disso, todas as séries foram convertidas em logaritmos naturais conforme o estabelecido pela literatura de forma a reduzir a variância dos dados e minimizar problemas relacionados com a heterocedasticidade dos erros.

5.3.2. Tratamento preliminar dos dados

Neste estudo, utilizaram-se os valores centrados das variáveis independentes, isto é, procedeu-se a remoção de suas médias para cada país. Segundo Bölük e Mert (2014) este procedimento reduz o problema da eventual presença de multicolinearidade entre as variáveis explicativas - a variável macroeconômica (PIB) e energéticas - usadas nos modelos especificados nas 3 formas acima identificadas: linear, quadrática em U-invertido, e cúbica em forma de N (que os estudos sobre a hipótese da CKA tem negligenciado ao longo dos anos

(Bölük e Mert, 2014)). Com o mesmo objectivo (multicolinearidade) usou-se também o método VIF ou do factor de inflação da variância (VIF - *variance inflation factor*) e o método das correlações - que neste caso identifica eventuais colinearidades entre cada duas as variáveis explicativas dos modelos. Os valores da estatística VIF de cada uma das regressões auxiliares (última coluna da tabela) e a matriz das correlações (restantes colunas) estão representadas na Tabela 22.

Tabela 22. Matriz de correlação com variáveis centradas e estatística VIF

	LCO2W	LLandfill	LCren	LEfw	LY	LY2	LY3	VIF
CO2W	1							
LLandfill	0.373	1						2.06
LCren	-0.344	-0.677	1					2.33
LEfw	-0.222	-0.494	0.556	1				1.93
LY	-0.225	-0.494	0.603	0.647	1			6.19
LY ²	0.038	0.084	-0.114	-0.153	-0.369	1		1.61
LY ³	0.094	-0.241	0.384	0.444	0.832	-0.576	1	5.13
Mean VIF								3.21

Nota: Valores obtidos com o comando VIF do Stata.

Os resultados referentes às estatísticas VIF das séries e os da matriz das correlações apresentam-se dentro dos limites aceitáveis, inferiores a 10 os primeiros e com módulos inferiores a 0.95 os segundos para que se possa proceder à estimação do modelo sem que a multicolinearidade seja uma preocupação.

5.4. Resultados

A abordagem dos dados em painel considera o uso de três estimadores, (i) o modelo *pooled* ou agrupado que faz a combinação de toda a série histórica e os dados de seção-transversal como se os dados não fossem de painel e que se estima com base no método *pooled ordinary least squares* (PLS), assumindo que o intercepto/interseção é comum; (ii) o modelo de efeitos fixos (FE), que foi estimado de forma a permitir diferentes interceptos ou termos independentes para as diferentes unidades de corte transversal (países); e (iii) o modelo de efeitos aleatórios (RE), que trata o intercepto como uma variável aleatória entre os países reunidos.

Por conseguinte, foram estimados os modelos de efeitos fixos e de efeitos aleatórios, FE e RE, respectivamente, e para confirmar que o efeito não observado (ε_{it}) não está correlacionado com as variáveis explicativas, i.e, que não se verifica o problema da endogeneidade entre as variáveis, utilizou-se o teste de *Hausman*. Este procedimento começa por estimar os coeficientes ou parâmetros com base nos modelos FE e RE, depois calcula a variância das diferenças entre ambos para cada um dos coeficientes referentes ao mesmo parâmetro e termina calculando a probabilidade de os efeitos de ambos os modelos serem individualmente iguais.

Estimados estes modelos foi testado o modelo FE contra o modelo RE e com base nos resultados do teste de *Hausman* ($\chi^2_5=13.96$ e, $p\text{-value}=0.015$), rejeitou-se a hipótese nula (H0) da existência de correlação entre os resíduos e regressores, rejeitando-se assim o problema da endogeneidade. Este teste é também usado para selecionar o modelo que melhor se adequa à realidade em apreço, e a rejeição da hipótese nula garante que o modelo FE é o mais apropriado (H1). A partir desta seleção do modelo realizaram-se ainda alguns testes de diagnóstico para verificar possíveis violações das hipóteses de base entre os erros do modelo de FE como a heterocedasticidade e a autocorrelação entre eles. Para examinar a heterocedasticidade entre os erros do modelo, utilizou-se o teste de Wald Modificado (*Modified Wald Test*) que forneceu os resultados $\chi^2_{15}=19912.60$ e $p\text{-value} = 0.000$, valores que permitem rejeitar igualmente a hipótese nula de os erros serem homocedásticos; nesse sentido conclui-se que os erros do modelo apresentam heterocedasticidade.

Realizou-se também o teste de correlação contemporânea BP- *Breusch-Pagan statistic for cross-sectional independence* para os resíduos do modelo FE que forneceu os valores $\chi^2_{105} = 505.079$ e $p\text{-value} = 0.000$, atestando que os resíduos estão também por este teste correlacionados. Da mesma forma o teste de *Woodridge* que forneceu os valores $F_{1,14}=38.891$

(*p-value* = 0.000) veio confirmar a presença de autocorrelação de primeira ordem entre os erros do modelo.

Os resultados desses testes de diagnóstico indicam que o modelo apresenta dependência transversal, os estão autocorrelacionados e são heterocedásticos. Para ultrapassar estas limitações ou problemas estimou-se novamente a equação (5.4), utilizando os estimadores FE com os erros padrão Driscoll e Kraay/D-K (1998) como forma assegurar a robustez das estimações do modelo, e ainda o método FE robusto e o método *Pooled* que funciona como *benchmark* ou comparativo.

Este estimador FE D-K é o modelo mais adequado para realizar a análise, e os coeficientes obtidos com o estimador FE D-K demonstraram serem estatisticamente significativos com cerca de 75% da variação das emissões de GEE dos setores de resíduos na UE a serem explicada pela variação das variáveis ou factores explicativos. O poder explicativo do nosso modelo é assim de 75%. Os sinais obtidos estão de acordo com o esperado e sugerido pela teoria económica para as variáveis Landfill, Cren e EfW com coeficientes altamente significativos ao nível de significância de 1%. Dado o fato de as emissões de GEE do setor de resíduos serem fortemente influenciadas pela ação dos tratamentos dos resíduos, - reciclagem, compostagem ou conversão em energias e deposição em aterros -, o coeficiente associado aos aterros (Landfill) indica que os aterros sanitários atuam positivamente sobre as emissões de GEE logo dando o seu contributo nocivo para o aumento do aquecimento global da Terra que tanto preocupa a todos.

Tabela 23. Resultado do painel FE com erros padrão *Driscoll-Kraay/D-K*.

Modelos	OLS	FE	FE Robust	FE D-K
Variável dependente = CO2W	(I)	(II)	(III)	(IV)
Variáveis explicativas	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente
Trend	0.004	-0.016***	-0.016	-0.016***
LLandfill	0.134***	0.118***	0.118***	0.118***
LCren	-0.233	-0.089**	-0.089	-0.089***
LEfW	-0.001	0.057***	0.057	0.057***
LY	-0.709	-0.498*	-0.498	-0.498**
LY2	1.696	1.550*	1.550	1.550**
LY3	2.4e+01	1.7e+01***	1.7e+01*	1.7e+01***
Constante	-1.8e+01	2.4e+01***	2.4e+01	2.4e+01**
Diagnóstico				
N	261	261	261	261
R ²	0.159	0.754	0.754	
R ² _a	0.136	0.732	0.747	
F	6.864	1.0e+02	1.4e+01	1.5e+03

Nota: ***, ** e * denota o nível de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Os coeficientes das variáveis Consumo de energia de origem renovável (Cren) e geração de eletricidade a partir da utilização de resíduos (EfW) demonstram efeitos negativos e positivos, respectivamente. Isso significa que os combustíveis renováveis reduzem as emissões de GEE, enquanto que a eletricidade produzida de resíduos aumenta as emissões. De acordo com a International Energy Agency (2015) em 2012 cerca de 48,22% da eletricidade gerada na UE foi de fontes energéticas fósseis, contra apenas 1,20% de eletricidade gerada a partir de resíduos ou em relação aos 20,86% da soma total de eletricidade medida em Gwh produzida por outras fontes renováveis na EU-28.

Portanto, os resultados obtidos pelo nosso modelo indicam que a conversão de resíduos em energia é uma alternativa atraente para mitigar tanto a quantidade de resíduos depositados em aterro quanto as emissões de GEE do setor e que, além disso, esta via contribui para a redução das emissões globais. Finalmente, a variável T (*trend*), uma *proxy* usada para capturar os efeitos das tecnologias revelou ser este um fator importante e que muito pode contribuir, pela melhor performance em termos de geração de energia para a redução das emissões, pois, como seria de esperar, o seu coeficiente é negativo e significativo em termos estatísticos ao nível de significância de 1%.

Estes resultados estão em linha com os obtidos por Zuberi e Ali (2015), Pirodda et al. (2013), Sevigné Itoiz et al. (2013) e Mohareb et al. (2008), autores que estudaram as emissões de GEE do setor de resíduos através de inventários e monitorização das emissões nas fases de eliminação de resíduos e que sugerem como estratégia para combater as emissões de GEE do setor resíduos a realização de investimentos na produção de energias nas instalações de tratamentos. Além disso, Pirodda et al. (2013) afirmam que um dos princípios de conversão de energias e de massas de resíduos, é considerar a previsão da própria geração de resíduos no futuro. Nesse sentido, Andersen et al. (2007), referem haver previsões de 15% a 20% de crescimento até 2020 da geração per capita de resíduos para a maioria dos países europeus da atualidade e Mazzanti e Zoboli (2008), afirmam que apenas um reduzido número de países membros da UE conseguirá estabilizar a geração de resíduos relacionada com o crescimento económico, e que os países com sucesso nesse processo serão aqueles que apresentarem estratégias de gestão consistentes com o desvio de resíduos de aterros para a conversão em energias renováveis ou para serem transformados em novas matérias-primas.

A análise das variáveis PIB real per capita (Y), o seu termo quadrado (Y^2) e cúbico (Y^3), apresentaram coeficientes estatisticamente significantes ao nível de 5% com sinais negativo, positivo e positivo, respectivamente. Estes resultados demonstram que a curva CKA-W não é consistente com a hipótese do U invertido, desta forma, a análise da função foi dividida em três fases distintas:

Na primeira fase, há uma diminuição da poluição por emissão de GEE do setor de resíduos em função do PIB per capita. Este resultado indica que as políticas desenvolvidas não têm sido suficientes para os padrões de rendimentos dos países europeus. Em outras palavras, estes países continuam com níveis elevados de consumo que têm gerado mais resíduos por influência da renda per capita;

Na segunda fase, acontece exatamente o reflexo do resultado da influência exercida pelo rendimento per capita na primeira fase, pois, onde era esperado encontrar evidência da relação em forma de U-invertido influenciado pelo desenvolvimento económico e pelo favorecimento da redução das emissões de GEE do setor de resíduos, na verdade há o crescimento das emissões de GEE no atual estágio de desenvolvimento;

Na terceira fase, o rendimento continua causando impacto positivo na poluição, no contexto geral estes resultados comprovam que a economia sozinha não consegue solucionar a geração de resíduos e como corolário as emissões de GEE. Neste caso, há necessidade de novas políticas institucionais para ajustar a mitigação do problema.

Esta questão em que os resíduos surgem como indicador de qualidade ambiental tem sido estudado por diversos pesquisadores. Os resultados encontrados por este estudo estão em linha com outros autores que não encontraram evidência de uma CKA-W em forma de U invertido para os resíduos (Seppälä et al., 2001; Rothman, 1998; Cole et al., 1997) e em contrapartida, estão em contraste com outros autores que obtiveram evidência de U invertido a partir dos resíduos como indicador de qualidade ambiental (Yanrong et al., 2011; Johnstone e Labonne, 2004; Gawande et al., 2000).

Apesar dos resultados favoráveis encontrados para utilização de energias renováveis no setor de resíduos, sugerem-se ainda novas abordagens para identificar padrões nacionais que possam ser confrontados com o desempenho em relação às metas individuais de mitigação dos GEE de cada país. Além disso, deve ser considerada a necessidade de ajustar a estratégia das políticas de resíduos sólidos de cada país individualmente as de nível global da UE no curto prazo para o horizonte 2020 e no longo prazo deve ter-se em atenção as deliberações tomadas no âmbito dos novos acordos da recente conferência de Paris (dezembro de 2015), e assim, ajudar a melhorar o entendimento deste setor essencial para sociedade, para economia no sentido de segurança energética e para melhoria das condições ambientais, nomeadamente a redução do problema do aquecimento global da Terra.

5.5. Conclusão

Neste estudo foi examinada a influência de energias renováveis com origem no setor de resíduos para mitigar parte das emissões de GEE do próprio setor dos resíduos sólidos. As variáveis energéticas do modelo (Cren-cota-parte das energias renováveis originadas nos resíduos e a EfW-geração de eletricidade a partir da utilização de resíduos), apresentaram resultados opostos, sendo que a primeira demonstrou ter sensibilidade para reduzir os níveis de GEE e a segunda favorece o aumento das emissões. Este resultado é bastante lógico para EfW, porque apesar de ser positivo, significa mesmo assim uma redução dos níveis de GEE em oposição ao consumo de energia fóssil na produção de eletricidade na UE.

Por outro lado, a retenção das emissões de poluentes como CO₂, CH₄ e N₂O funciona como mitigação de parte do GEE devido ao fluxo de resíduos nos aterros destinados a incineração com a sua devida conversão em energias. De acordo com o IPCC (IPCC, 2006), os potenciais de aquecimento global dos dois últimos poluentes são 21 e 310 vezes superiores para degradação ambiental do que a emissão do primeiro, que ocorre não só na fase de degradação em aterro, mas também durante o processo de geração de eletricidade nas centrais de tratamentos de resíduos.

Outro resultado importante é que foi encontrada evidência empírica de que as novas tecnologias em termos de eficiência favorecem a redução de emissões e não podem ser negligenciadas, pois o modelo indica aos decisores políticos e gestores do setor de resíduos que devem considerar investimentos para elevar a utilização dos resíduos como fonte energética e porque os resíduos como uma *proxy* do consumo conseguem realizar encadeamento com efeitos diretos e indiretos do reaproveitamento dos resíduos numa economia circular, cuja entrada de recursos energéticos e material inibe as emissões de GEE. Além disso, há também melhor conservação das energias e das matérias-primas (recursos naturais) e melhoramento da qualidade do meio ambiente com a redução da disposição de resíduos em aterros sanitários.

Por sua vez, a ausência do U-invertido para CKA-W demonstra como o setor de gestão de resíduos na UE não está a ser capaz de encontrar soluções para o problema considerando o quadro regulamentar como uma iniciativa de política pública voltada para o setor de resíduos através das diretivas impostas e incentivos ao tratamento adequado dos resíduos sólidos. Portanto, estes resultados vão na contramão das políticas adotadas para diminuir as emissões de GEE consoante aos objetivos determinados pela UE no horizonte 2020 e confirma que o impacto das políticas que regulamentam o setor de resíduos não tem sido suficiente para mitigar os efeitos do setor pelo menos nos países que foram analisados neste estudo.

Neste sentido, os resultados desta pesquisa são de grande relevância para que os formuladores de políticas públicas possam melhorar e conduzir a política de incentivo à substituição de fontes de energias fósseis por fontes alternativas que promovam a mitigação de problemas com as emissões de GEE do setor de resíduos e recrudescer as condições da economia circular de energias renováveis extraída de resíduos e realizar a transição deste setor económico para um menor nível de emissão de GEE na UE.

Referências

- Andersen, F. M., Larsen, H., Skovgaard, M., Moll, S., & Isoard, S. (2007). A European model for waste and material flows. *Resources, Conservation and Recycling*, 49, 421-435. doi:10.1016/j.resconrec.2006.05.011
- Antonoli, B., & Massarutto, A. (2012). The municipal waste management sector in Europe: Shifting boundaries between public service and the market. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 83, 505-532. doi:10.1111/j.1467-8292.2012.00475.x
- Baek, J. (2015). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: The case of Arctic countries. *Energy Economics*, 50, 13-17. doi:10.1016/j.eneco.2015.04.010
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. John Wiley & Sons Ltd.
- Beede, D. Bloom, D. (1995). Economics of the generation and management of MSW. National Bureau of Economic Research. NBER Working Paper Series, (5116), 96.
- Berrens, R. P., Bohara, A. K., Gawande, K., & Pingo Wang. (1997). Testing the inverted-U hypothesis for US hazardous waste. *Economics Letters*, 55, 435-440. doi:10.1016/S0165-1765(97)00088-8
- Bölük, G., & Mert, M. (2014). Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: Evidence from a panel of EU (European Union) countries. *Energy*, 74. doi:10.1016/j.energy.2014.07.008
- Cole, M. a., Elliott, R. J. R., & Shimamoto, K. (2005). Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50, 121-143. doi:10.1016/j.jeem.2004.08.001
- Cole, M. A., Rayner, A. J., & Bates, J. M. (1997). The environmental Kuznets curve: an empirical analysis. *Environment and Development Economics*, 2(4), 401-416. doi:10.1017/S1355770X97000211
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549-560. doi:10.1162/003465398557825
- Ekins, P. (1997). The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence. *Environment and Planning A*, 29(5), 805-830. doi:10.1068/a290805
- European Commission. (2012). Analysis of Options Beyond 20% GHG Emission Reductions: Member State Results. Commission Staff Working Paper, 1-49. Retrieved from http://ec.europa.eu/clima/policies/package/docs/swd_2012_5_en.pdf
- European Environment Agency. (2013). Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries. Publications Office of the European Union, (2), 1-40. doi:10.2800/71424
- Eurostat. (2014). Greenhouse gas emissions from waste disposal. Eurostat Statistics Explained, (March 2014), 1-8. Retrieved from http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emissions_from_waste_disposal#
- Fredriksson, P. G., & Vollebergh, H. R. J. (2009). Corruption, federalism, and policy formation in the OECD: the case of energy policy. *Public Choice*, 140(1-2), 205-221. doi:10.1007/s11127-009-9419-x
- Friedrich, E., & Trois, C. (2013). GHG emission factors developed for the collection, transport and landfilling of municipal waste in South African municipalities. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 33(4), 1013-26. doi:10.1016/j.wasman.2012.12.011

- Gawande, K., Bohara, A. K., Berrens, R. P., & Wang, P. (2000). Internal migration and the environmental Kuznets curve for US hazardous waste sites. *Ecological Economics*, 33, 151-166. doi:10.1016/S0921-8009(99)00132-9
- Granados, T., & Carpintero, Ó. (2009). Dispelling the smoke: CO₂ emissions and economic growth from a global perspective. Retrieved from sitemaker.umich.edu/tapia_granados/files/co2_emissions_and_gdp_growth_-_dec_2009_-_f2.pdf
- Harbaugh, W. T., Levinson, A., & Wilson, D. M. (2002). Re-examining the empirical evidence for an Environmental Kuznets Curve. *The Review of Economics and Statistics*, 84(3), 541-551.
- Hervieux, M., & Darn, O. (2013). Environmental Kuznets Curve and Ecological Footprint: A Time Series Analysis. HAL - Archives-Quers.fr. Retrieved from https://halshs.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/781958/filename/LEMNA_WP_201301.pdf
- Hill, R. C., Griffiths, W. E., Judge, G. G. (2012). *Principles of Econometrics*. Edition, International Student.
- Hoorweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. World Bank, Washington DC. Retrieved 1 December 2014, from <http://www.mswmanagement.com/MSW/Articles/20536.aspx?format=2>
- Hsião, C. (2014). *Analysis of Panel Data*. Econometric Society Monographs, Paperback, (3rd ed).
- Huang, W. M., Lee, G. W. M., & Wu, C. C. (2008). GHG emissions, GDP growth and the Kyoto Protocol: A revisit of Environmental Kuznets Curve hypothesis. *Energy Policy*, 36(1), 239-247. doi:10.1016/j.enpol.2007.08.035
- IEA. (2015). electricity and heat by source of energy. Balances: electricity and heat of sources for European Union -28. Retrieved 3 February 2015, from <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2012&country=EU28&product=ElectricityandHeat>
- IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Solid Waste Disposal. Intergovernmental Panel on Climate Change, 5, 1-40. Retrieved from <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- Johnstone, N., & Labonne, J. (2004). Generation of household solid waste in OECD countries: An empirical analysis using macroeconomic data. *Land Economics*, 80(4), 529-538. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-9944265637&partnerID=tZ0tx3y1>
- Maddison, D. (2006). Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2), 218-230. doi:10.1016/j.jeem.2005.07.002
- Magrinho, A., Didelet, F., & Semiao, V. (2006). Municipal solid waste disposal in Portugal. *Waste Management*, 26, 1477-1489. doi:10.1016/j.wasman.2006.03.009
- Mazzanti, M., & Zoboli, R. (2008). Waste generation, waste disposal and policy effectiveness. Evidence on decoupling from the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1221-1234. doi:10.1016/j.resconrec.2008.07.003
- Mohareb, A. K., Warith, M. a., & Diaz, R. (2008). Modelling greenhouse gas emissions for municipal solid waste management strategies in Ottawa, Ontario, Canada. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1241-1251. doi:10.1016/j.resconrec.2008.06.006
- Monni, S. (2012). From landfilling to waste incineration: Implications on GHG emissions of different actors. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 8, 82-89. doi:10.1016/j.ijggc.2012.02.003
- Noor, Z. Z., Yusuf, R. O., Abba, A. H., Abu Hassan, M. A., & Mohd Din, M. F. (2013). An overview for energy recovery from municipal solid wastes (MSW) in Malaysia scenario.

- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 378-384. doi:10.1016/j.rser.2012.11.050
- Ozcan, B. (2013). The nexus between carbon emissions, energy consumption and economic growth in Middle East countries: A panel data analysis. *Energy Policy*, 62, 1138-1147. doi:10.1016/j.enpol.2013.07.016
- Pao, H.-T., & Tsai, C.-M. (2010). CO2 emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*, 38(12), 7850-7860. doi:10.1016/j.enpol.2010.08.045
- Pérez-Suárez, R., & López-Menéndez, A. J. (2015). Growing green? Forecasting CO2 emissions with Environmental Kuznets Curves and Logistic Growth Models. *Environmental Science & Policy*, 54, 428-437. doi:10.1016/j.envsci.2015.07.015
- Pirotta, F. J. C., Ferreira, E. C., & Bernardo, C. a. (2013). Energy recovery and impact on land use of Maltese municipal solid waste incineration. *Energy*, 49, 1-11. doi:10.1016/j.energy.2012.10.049
- Raj, N. T., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of renewable energy based cogeneration technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3640-3648. doi:10.1016/j.rser.2011.06.003
- reshaping-res-policy.eu. (2015). Shaping an effective and efficient European renewable energy market. Retrieved 5 February 2015, from <http://www.reshaping-res-policy.eu/>
- Rothman, D. S. (1998). Environmental Kuznets curves - Real progress or passing the buck?: A case for consumption-based approaches. *Ecological Economics*, 25, 177-194. doi:10.1016/S0921-8009(97)00179-1
- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021-4028. doi:10.1016/j.enpol.2009.05.003
- Seppälä, T., Haukioja, T., & Kaivo-oja, J. (2001). The EKC Hypothesis does not hold for direct material flows: Environmental Kuznets Curve Hypothesis tests for direct material flows in five industrial countries. *Population and Environment*, 23(2), 217-238. doi:10.1023/A:1012831804794
- Sevigné Itoiz, E., Gasol, C. M., Farreny, R., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2013). CO2WZ: Carbon footprint tool for municipal solid waste management for policy options in Europe. Inventory of Mediterranean countries. *Energy Policy*, 56, 623-632. doi:10.1016/j.enpol.2013.01.027
- Shmelev, S. E., & Powell, J. R. (2006). Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems. *Ecological Economics*, 59, 115-130. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.09.030
- Sjöström, M., & Östblom, G. (2010). Decoupling waste generation from economic growth - A CGE analysis of the Swedish case. *Ecological Economics*, 69(7), 1545-1552. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.02.014
- Stern, D. I. (2003). The Environmental Kuznets Curve. *International Society for Ecological Economics Internet Encyclopaedia of Ecological*, 11. doi:10.1080/1350485042000207216
- Stern, D. I., Common, M. S., & Barbier, E. B. (1996). Economic growth and environmental degradation: The environmental Kuznets curve and sustainable development. *World Development*, 24(7), 1151-1160. doi:10.1016/0305-750X(96)00032-0
- Tan, S. T., Hashim, H., Lim, J. S., Ho, W. S., Lee, C. T., & Yan, J. (2014). Energy and emissions benefits of renewable energy derived from municipal solid waste: Analysis of a low carbon scenario in Malaysia. *Applied Energy*, 136, 797-804. doi:10.1016/j.apenergy.2014.06.003
- Teixeira, S., Monteiro, E., Silva, V., & Rouboa, A. (2014). Prospective application of municipal solid wastes for energy production in Portugal. *Energy Policy*, 71, 159-168. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.002
- Torrás, M., & Boyce, J. K. (1998). Income, inequality, and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 147-160. doi:10.1016/S0921-

8009(97)00177-8

- Yanrong, W., Cuili, W., & Han, W. (2011). Research on the Quantitative Relationship between the Generation of Industrial Solid Waste and Per Capita GDP of Henan Province. *Energy Procedia*, 5, 593-597. doi:10.1016/j.egypro.2011.03.104
- Zuberi, M. J. S., & Ali, S. F. (2015). Greenhouse effect reduction by recovering energy from waste landfills in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 117-131. doi:10.1016/j.rser.2014.12.028

Capítulo 6

Conclusão geral

Esta investigação enquadra-se no âmbito de outras que se têm dedicado ao estudo da relação ou inter-relação entre energia, crescimento e impactos ambientais com adição de novas variáveis como por exemplo a electricidade gerada a partir de resíduos sólidos - integrada entre o leque das energias renováveis, e a tecnologia captada através do recurso a uma *proxy*, mas não se restringe apenas a replicar o que outros autores já reportaram, acrescenta novas abordagens, novas técnicas de amostragem como as multivariadas com recurso a dados de painel que têm na devida conta uma dimensão espacial e uma dimensão temporal, novas variáveis, novos testes de diagnóstico para a validação dos resultados e novas interpretações, painéis de dados variados constituídos por países da América do Sul ditos em desenvolvimento, da OCDE que se caracterizam por ter elevados rendimentos e países da União Europeia também incluídos entre os chamados países desenvolvidos.

Daí decorrem alguns contributos originais que serão realçados. Assim, esta tese adiciona contribuição empírica original relacionada com a investigação dos impactos ou efeitos das energias renováveis e das energias fósseis sob as emissões de gás de efeito estufa (GEE) utilizando um quadro multivariado compreendendo vários países da América do Sul, da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) e da União Europeia (UE). Os principais resultados da pesquisa ordenados por ordem de estudo (ensaio), bem como as contribuições destas investigações para literatura são as seguintes:

Em primeiro lugar, ressalva-se que este estudo tem como escopo geral de pesquisa economias de países desenvolvidos e de países em fase de desenvolvimento. Em relação aos resultados do primeiro painel estudado sobre oito países da América do Sul, demonstrou-se evidência empírica de que o painel tem a presença de dependência seccional sugerindo a estes países a partilha de choques comuns entre as variáveis;

Em segundo lugar, foi encontrada evidência empírica de co-integração tanto ao nível de painel quanto individual; no curto e longo prazo existem evidências de uma relação entre a produção de energia eléctrica fóssil, crescimento económico e emissões de dióxido de carbono; no longo prazo somente a energia eléctrica do *mix* de recursos renováveis e o crescimento económico foram significativos; há igualmente uma evidência empírica de que as emissões de dióxido de carbono desfasadas um período, ou do ano anterior, dão um contributo para a redução das emissões atuais e, além disso, de que os países do painel

seguem comportamentos diferentes no que diz respeito às respostas que cada tipo de energia está a dar na produção de eletricidade; Em termos de reajustamento com vista a recuperar o equilíbrio de longo prazo das economias do painel os resultados mostram que 27% do desequilíbrio do modelo é corrigido no período seguinte.

Aos resultados descritos acima acrescentam-se os seguintes: (i) a produção de energia elétrica fóssil e o crescimento económico são responsáveis por parte significativa das emissões de gases poluentes ou de efeito de estufa (GEE). (ii) a produção de energia elétrica renovável é responsável pela redução das emissões de poluição, revelando aos decisores políticos a importância de medidas de política públicas que favoreçam as energias renováveis em detrimento das fontes clássicas; (iii) embora, as estruturas energéticas que incorporam o *mix* de recursos renováveis funcionem bem de forma coletiva, a América do Sul, globalmente, deverá demorar mais tempo a fazer o seu ajustamento comparativamente a alguns dos países quando considerados individualmente, relacionando também com a disponibilidade de recursos de cada um, do nível tecnológico e do seu ‘desafogo’ em termos de reservas naturais e divisas que condicionam as compras ou importações de matérias primas fósseis (petróleo e outros) e que favorecem a adoção de tecnologias limpas.

Face aos novos compromissos assumidos pelos vários intervenientes no novo acordo para mitigações das emissões de GEE pelos países em dezembro de 2015 no encontro de Paris, os decisores políticos devem ter em mente também a importância das especificidades de cada país no âmbito do Mercosul e nas diretrizes que emanam de políticas de mitigação das emissões de GEE nos países desta união. Ou seja, as políticas energético-ambientais gerais deste bloco económico devem conter cláusulas diferenciais, não devendo ser rígidas mas versáteis para adaptar-se às especificidades de cada país isoladamente.

Estes resultados adicionam algumas contribuições originais. Por exemplo os estudos empíricos publicados e conhecidos que incidem sobre os países da América do Sul investigam geralmente a relação entre crescimento económico e o consumo de energia sem considerar as emissões de gases poluentes e estão focados principalmente nas energias fósseis. Existem apenas dois estudos que investigam o nexo energia-crescimento (*energy-growth nexus*) na América do Sul e fazem a ligação com as emissões de GEE. Mas esses estudos não têm em conta a dependência seccional ou entre países tendo construído modelos que não consideram a influência de choques comuns a que as séries dos modelos possam estar sujeitas como, por exemplo, implicações das políticas públicas anteriores afetando o comportamento das variáveis no momento presente e futuro.

Com a finalidade de preencher essa lacuna no âmbito dos estudos que utilizam dados de painel na América do Sul, neste trabalho é proposto um modelo suportado num quadro multivariado que lida de uma forma robusta com o problema de dependência seccional; além disso, tanto quanto é do nosso conhecimento, não há nenhum estudo no âmbito da América

do Sul que tenha investigado essa relação utilizando como factores explicativos da produção de energia eléctrica separada por fonte de geração (renovável e não renovável), a renda ou rendimento real medida pelo Produto Interno Bruto (PIB) per capita e as emissões de poluição por dióxido de carbono (CO₂), com recurso a uma abordagem dinâmica ARDL (*Autoregressive Distributed Lag model*) com mecanismo de correcção do erro UECM (*Unrestricted Error correction Mechanism*).

O mecanismo de ajustamento do modelo da América do Sul ainda forneceu evidência de que as séries utilizadas conseguem ajustar-se com vista ao equilíbrio de longo prazo em cerca de 27%. Além da verificação de que as variáveis são co-integradas, as diferenças entre a estrutura corrigida e o que restou indicam a existência de outras variáveis ausentes no modelo. O estudo apresenta uma forma eficiente e original de testar o efeito sobre a variação das emissões de gases com efeitos de estufa ou poluentes do crescimento económico, das fontes de energias consumidas (de origem fóssil e renovável), e da tecnologia na América do Sul.

Os resultados do segundo painel compreendendo as economias de alta renda ou rendimento da OCDE demonstrou evidência empírica de dependência seccional, indicando que os países partilham ou repartem choques ou efeitos comuns ao longo dos respectivos processos de desenvolvimento; a hipótese nula do teste de co-integração não foi rejeitada e existem evidências da relação entre a produção de energia eléctrica fóssil, o crescimento económico e as emissões de poluição; tanto no curto quanto no longo prazo a produção de energia eléctrica fóssil e o crescimento económico tem efeitos positivos sobre as emissões de poluição, isto é, fazem-nas crescer; essas mesmas emissões desfasadas um período têm efeitos negativos sobre as emissões de CO₂ atuais, ou seja, contribuem para a sua redução; as energias renováveis são singnificantes somente no longo prazo e como esperado com impactos negativos ou favoráveis à redução das emissões de CO₂ e daí do aquecimento global; o modelo ainda demonstrou evidência que o desequilíbrio é corrigido em cerca de 30% de um ano para o seguinte indicando que as economias dos países desenvolvidos convergem para os seus equilíbrios de longo prazo.

Dos poucos estudos que investigam a relação da produção de energia eléctrica separada por tipo de fonte energética geralmente quando incidentes sobre os países OCDE não têm em consideração a presença de dependência seccional inerente aos modelos dinâmicos e este fá-lo, ampliando o conhecimento sobre o tema da produção de energia eléctrica com origem em recursos renováveis e adicionando novas evidências ao conhecimento energético-ambiental do conjunto de países desenvolvidos da OCDE.

A comparação dos resultados dos painéis da América do Sul e dos países OCDE, permite relacionar e realçar algumas implicações de políticas: aos países em via de desenvolvimento evidenciam que a grande parte da energia que produzem e consomem não é uma energia de

substituição; o problema concreto destes países é a geração de mais energia elétrica para o normal e desejável desenvolvimento destes países; por sua vez, os países desenvolvidos estão constantemente a adaptar-se sob o ponto de vista tecnológico procurando alcançar maiores eficiências e com melhores *performances* ou desempenho na geração e consumo da energia elétrica, o que faz funcionar a sua exigente economia.

Dadas as realidades estruturais e económicas diferentes de país para país e painel de países para painel, o conflito nos países em desenvolvimento é como acomodar ou satisfazer as suas necessidades de crescimento económico com menores níveis de degradação ambiental e escassos recursos financeiros mas abundantes matérias-primas. O conflito ou dilema dos países desenvolvidos é como reduzir a fatura da poluição e continuar a assegurar patamares elevados de desenvolvimento e de sofisticação, e também como levar a cabo a substituição de fontes energéticas mais baratas, as convencionais, por fontes energéticas mais onerosas mais performantes em termos ambientais, as renováveis, na actualidade.

No caso dos países em desenvolvimento o problema é mais complexo ainda, pois, sem a capacidade económica de absorção e, portanto, sem ter os níveis de rendimentos necessários para que a sua população melhore substancialmente a sua qualidade de vida, e sem os recursos financeiros necessários para conseguir a necessária e urgente conversão tecnológica requerida, estes países já estão a adotar e a praticar medidas de política de conservação de energia que, embora as variações do crescimento económico possam afetar o consumo de energia, as alterações de consumo de energia não afetem o crescimento económico. Embora pareça paradoxal, estamos convencidos que a implementação de medidas de política favoráveis a investimentos dirigidos à promoção de fontes de energia (elétrica) mais limpas e de tecnologias mais eficientes em regiões e países com maiores níveis de poluição irá contribuir para o crescimento económico geral e empregos, alguns dos quais verdes, e que terá reflexos positivos aos níveis económico e de bem-estar social e ambiental.

O problema não é fácil porque a poluição em si destrói mais do que favorece em termos de crescimento do PIB e do rendimento das famílias para resolver o grave problema da degradação ambiental actual. Isso não quer dizer que nos países em desenvolvimento não existam grandes pressões para a substituição tecnológica mais *performante* em termos energéticos e ambientais, para a utilização das energias renováveis, ou para estruturas de consumo de eletricidade mais eficientes, muito pelo contrário, pois os grandes combates e sensibilização ambientais decorrem basicamente nos *mass-media* desses países. É preciso que estas acções prossigam o seu caminho e atinjam os seus fins, que convençam alguns países, algumas grandes empresas e outras forças de bloqueio que a aposta decidida nas energias renováveis irá reduzir decididamente as emissões de GEE e conseqüentemente o aquecimento global do planeta, e que esta é uma forte estratégia para o cumprimento das metas de redução dos níveis de emissão de gases poluidores assumidas nos tratados internacionais.

Os resultados do terceiro painel adicionam à literatura uma contribuição original pois ao nível do nosso conhecimento não há nenhum estudo que até agora tenha investigado o relacionamento entre a produção de combustíveis renováveis, o consumo de energia elétrica, o crescimento económico e as emissões de GEE, especificamente para o setor de resíduos sólidos dos Estados Membros da União Europeia. Este estudo demonstrou evidências empíricas que confirmam o relacionamento entre as variáveis acabadas de referir; aportou também evidência empírica que o uso de resíduos para a produção combustíveis renováveis reduz não só a quantidade de lixo depositada nos aterros como reduz também os níveis de emissões de GEE; juntou também evidência de que a tecnologia incorporada nos novos equipamentos produtivos, motores e outros tem efeitos negativos sobre as emissões de GEE, i.é, dá um contributo acrescido para a redução dos níveis de emissão de gases com efeito de estufa; um outro e último *apport* deste estudo foi mostrar que a curva CKA-W não confirma a hipótese de U-invertido para a poluição com os níveis de rendimento dos países europeus.

Estes resultados tem várias implicações no âmbito das políticas globais da UE. Em primeiro lugar, a conversão de resíduos sólidos em combustíveis renováveis pode ser usada como estratégia para reduzir as quantidades de resíduos sólidos e neutralizar os impactos dos GEE libertados pelos enormes e intermináveis aterros sanitários destes países. Em segundo a transformação de resíduos em energias renováveis irá contribuir para a segurança energética desses países, o seu crescimento económico e bem-estar, também pelos empregos que vai criar. Em terceiro, devido ao facto de a curva de poluição ter transmitido a noção que a economia não está a conseguir resolver o problema dos resíduos, apesar do grande esforço de adoção de políticas públicas direcionadas ao setor de resíduos nos países europeus, a verdade é que essas políticas não têm sido suficientemente convincentes e eficazes, tornando-se ainda necessário reforçar os instrumentos políticos, económicos, institucionais e de comunicação social já existentes para melhorar o seu desempenho de forma a atingir os objetivos de mitigação dos níveis de poluentes gerados pelas economias europeias e a aumentar a quota-parte das energias renováveis no bolo energético europeu cumprindo assim ou fazendo cumprir os objetivos do Horizonte 2020 actualmente em vigor nos países da União Europeia.

Apêndice A

Capítulo 3

Apêndice A - Capítulo 3.

Tabela 24. Estatística descritiva painel América do Sul, 1980-2010.

Variable		Mean	Std. Dev.	min	Max	Observations
Nível						
LPCO2	overall	0.6379	0.5714	-0.4931	2.0319	N = 248
	between		0.5716	0.0284	1.8274	n = 8
	within		0.1988	0.1164	1.1687	T = 31
LOilElectr	overall	-12.4209	2.0310	-16.7098	-8.0950	N = 248
	between		1.9979	-15.5217	-10.0122	n = 8
	within					T = 31
LRElectr	overall	-9.9494	1.2113	-11.6705	-7.0531	N = 248
	between		1.2740	-11.5347	-7.3701	n = 8
	within		0.2033	-11.1554	-9.5931	T = 31
LYpc	overall	8.0714	0.5713	6.6845	9.0606	N = 248
	between		0.5811	6.8472	8.6240	n = 8
	within		0.1724	7.4846	8.5734	T = 31
Diferença						
DLPCO2	overall	0.0092	0.1094	-0.5948	0.4930	N = 240
	between		0.0079	-0.0005	0.2079	n = 8
	within		0.1091	-0.5937	0.4940	T = 30
DLOilElectr	overall	-0.0170	0.5785	-3.2777	4.5887	N = 240
	between		0.0273	-0.0575	0.0244	n = 8
	within		0.5779	-3.2901	4.5763	T = 30
DLRElectr	overall	0.0863	0.1528	-0.6153	0.8068	N = 240
	between		0.0164	-0.0188	0.0355	n = 8
	within		0.1520	-0.6308	0.7913	T = 30
DLYpc	overall	0.0114	0.0441	-0.1527	0.1501	N = 240
	between		0.0099	-0.0019	0.0313	n = 8
	within		0.0432	-0.1512	0.1635	T = 30

Note: The stata command xtsum was used to achieve the results for panel between and within statistics.

Tabela 25. Matriz de correlação dos resíduos e teste Breusch-Pagan LM test, painel América do Sul, 1980-2010.

countries	Bolívia	Brasil	Chile	Colômbia	Equador	Perú	Uruguai	Venezuela
Bolívia	1							
Brasil	-0.0010	1						
Chile	0.1671	0.2961	1					
Colômbia	-0.0999	-0.3267	0.0008	1				
Equador	-0.0458	-0.0281	-0.0151	-0.1683	1			
Perú	-0.2983	0.1777	0.0129	-0.0879	0.0043	1		
Uruguai	0.1642	0.0515	-0.0834	0.0671	0.2788	-0.3243	1	
Venezuela	0.1884	0.2118	-0.0315	-0.0342	-0.1701	-0.0585	0.0202	1
Breusch-Pagan LM test of independence - based on 30 complete observations								
chi2(28) =			21.945					
Pr =			0.7838					

Nota: resultado obtido com o comando Stata xtreg e xttest2

Tabela 26. Resultado da regressão com estimador Driscoll-Kraay (D-K),

Regression with Driscoll-Kraay standard errors		Number of obs	=	240
Method: Fixed-effects regression		Number of groups	=	8
Group variable (i): country		F (7, 7)	=	22.13
Maximum lag: 1		Prob > F	=	0.0003
		within R-squared	=	0.3738

PCO2	Coef.	Drisc/Kraay Std err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Trend	0.001349	0.000680	1.99	0.088	-0.000259	0.002958
DLOilElectr	0.026012	0.011475	2.27	0.058	-0.001123	0.053147
DLRelectr	-0.242931	0.050559	-4.80	0.002	-0.362485	-0.123377
DLYpc	0.625853	0.126793	4.94	0.002	0.326035	0.925671
LPCO2 (-1)	-0.269660	0.062181	-4.34	0.003	-0.416696	-0.122624
LRelectr (-1)	-0.142375	0.033948	-4.23	0.004	-0.224029	-0.063478
LYpc (-1)	0.217981	0.057860	3.77	0.007	0.081162	0.354799
Cons	-3.035616	0.635842	-4.77	0.002	-4.539144	-0.53208

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata xtsc

Tabela 27. Resultado elasticidade OLS

LRelectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.2203	0.4204	-0.52	0.600	-1.0444	0.6038

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.6214	0.7637	0.81	0.416	-0.8754	2.1183

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 28. Resultado elasticidade FE

LRelectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.5330	0.1340	-3.98	0.000	-0.7958	-0.2703

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.8083	0.1765	4.58	0.000	0.4622	1.1544

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 29. Resultado elasticidade FE Robust

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.5330	0.1494	-3.57	0.000	-0.8260	-0.2400

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.8083	0.1946	4.15	0.000	-0.4269	1.1897

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 30. Resultado elasticidade FE D-K

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.5330	0.1386	-3.85	0.000	-0.4048	-0.2613

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> t	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.8083	0.0896	9.02	0.000	0.6226	0.9840

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Apêndice B

Capítulo 4

Apêndice B - Capítulo 4.

Tabela 31. Estatística descritiva painel OCDE, 1990-2011.

Variable		Mean	Std. Dev.	min	Max	Observations
Nível						
LPCO2	overall	2.2717	0.3719	1.5816	3.0060	N = 307
	between		0.3753	1.7369	2.9508	n = 14
	within		0.0817	1.9522	2.5899	T-bar =21.9286
LOilElectr	overall	11.2554	1.3846	9.4225	14.9507	N = 308
	between		1.4228	9.8058	14.8150	n = 14
	within		0,1770	10.7545	11.7423	T = 22
LRElectr	overall	10.7660	1.8606	6.7428	14.14	N = 308
	between		1.8981	7.4573	13.9658	n = 14
	within		0.3252	9.0204	11.9074	T = 22
LYpc	overall		10.6942	1.2117	9.4421	N = 307
	between			1.2642	9.6409	n = 14
	within			0.1411	10.2160	T-bar =21.9286
Diferença						
DLPCO2	overall	-0.0054	0.0530	-0.2086	0.2274	N = 293
	between		0.0062	-0.0031	0.0031	n = 14
	within		0.5274	0.2362	0.2362	T-bar =20.9286
DLOilElectr	overall	0.0120	0.1062	-0.4584	0.4452	N = 294
	between		0.0114	-0.0102	0.0342	n = 14
	within		0.1056	-0.4602	0.4434	T = 21
DLRElectr	overall	0.0351	0.1497	-1.2914	1.3781	N = 294
	between		0.0364	0.0127	0.1366	n = 14
	within		0.1455	-1.2714	1.3981	T = 21
DLYpc	overall	0.0154	0.0255	-0.0910	0.0923	N = 293
	between		0.0059	0.0073	0.0329	n = 14
	within		0.0249	-0.0935	0.0747	T-bar =20.9286

Note: The stata command xtsum was used to achieve the results for panel between and within statistics.

Tabela 32. Matriz de correlação dos resíduos e teste Breusch-Pagan LM test, painel OCDE, 1990-2011.

País	Austrália	Áustria	Bélgica	Canadá	Dinamarca	Finlândia	França	Alemanha	Grécia	Hungria	Irlanda	Itália	Espanha	EUA
Austrália	1													
Áustria	0.2532	1												
Bélgica	-0.2013	-0.2473	1											
Canadá	0.4829	0.1353	0.0544	1										
Dinamarca	0.1054	0.4544	0.2963	0.2203	1									
Finlândia	0.0635	0.2775	0.0304	0.0228	0.6314	1								
França	0.1002	0.0476	0.1849	0.3756	0.1624	-0.1386	1							
Alemanha	-0.0547	-0.0987	-0.0579	0.0900	-0.3280	-0.5465	-0.0991	1						
Grécia	0.1617	0.3362	-0.1366	-0.0403	0.0504	0.0981	0.0433	0.0880	1					
Hungria	0.1065	-0.2217	-0.1986	0.0882	-0.2610	-0.2960	-0.1227	0.4941	0.1440	1				
Irlanda	-0.4491	-0.3146	0.1440	-0.2342	0.1120	0.2125	0.1874	-0.1297	-0.1614	-0.1660	1			
Itália	-0.0316	0.5026	0.0760	0.1434	0.1460	0.1187	-0.1043	-0.1747	0.1672	-0.0675	-0.3436	1		
Espanha	-0.4529	0.0552	0.1615	0.0057	0.1493	0.1583	-0.2087	-0.0127	-0.3445	-0.1943	0.5190	0.0445	1	
EUA	-0.2237	0.0465	0.2007	0.1266	-0.0196	-0.0793	0.3084	0.3084	-0.5056	-0.0835	0.2744	-0.0390	0.5089	1
Breusch-Pagan LM test of independence - based on 30 complete observations														
chi2(28) = 21.945														
Pr = 0.7838														

Nota: resultado obtido com o comando Stata xtreg e xttest2

Tabela 33. Resultado da regressão com estimador Driscoll-Kraay (D-K)

Regression with Driscoll-Kraay standard errors		Number of obs	=	292
Method: Fixed-effects regression		Number of groups	=	14
Group variable (i): country		F (7, 7)	=	203.16
Maximum lag: 1		Prob > F	=	0.0000
		within R-squared	=	0.7574

PCO2	Coef.	Drisc/Kraay Std err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
Trend	-0.0044	0.0006	-7.14	0.000	-0.0057	-0.0031
DLOilElectr	0.3876	0.0194	19.95	0.000	0.3456	0.4295
DLYpc	0.4676	0.0601	7.78	0.000	0.3378	0.5975
LPCO2 (-1)	-0.3021	0.0452	-6.68	0.000	-0.3998	-0.2043
LOilElectr (-1)	0.1141	0.0307	3.71	0.003	0.0477	0.1805
LRElectr (-1)	-0.0119	0.0028	-4.23	0.001	-0.0180	-0.0058
LYpc (-1)	0.1054	0.0215	4.89	0.000	0.0588	0.1519
Cons	-1.5578	0.3073	-5.07	0.000	-2.2219	-0.8938

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata xtsc

Tabela 34. Resultado elasticidade OLS

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	t	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.0595	0.2768	0.22	0.830	-0.4830	0.6021

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	t	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.3091	0.4491	-0.69	0.491	-1.1894	0.5712

LOilElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	t	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.1049	0.3421	0.31	0.759	-0.5655	0.7754

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 35. Resultado elasticidades FE

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.0441	0.0245	-1.80	0.072	-0.0922	0.0039

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3542	0.0915	3.87	0.000	-0.1748	0.5336

LOilElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3763	0.0483	7.79	0.000	0.2816	0.4710

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 36. Resultado elasticidade FE robust

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.0441	0.0326	-1.35	0.176	-0.1080	0.0198

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3542	0.0822	4.31	0.000	0.1930	0.5154

LOilElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3763	0.0685	5.49	0.000	0.2420	0.5106

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Tabela 37. Resultado elasticidade FE D-K

LRElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	-0.044	0.0192	-2.29	0.022	-0.0818	-0.0064

LYpc/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3542	0.0870	4.07	0.000	0.1835	0.5249

LOilElectr/LPCO2						
LPCO2	Coef.	Std err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
ratio1	0.3763	0.0618	6.08	0.000	0.2550	0.4976

Nota: Este resultado foi obtido com o comando Stata qui: reg, nlcom (ratio-1).

Apêndice C

Capítulo 5

Apêndice C - Capítulo 5.

Table 38. Estatística descritiva painel União Europeia, 1995-2012.

Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations
LCO2W	Overall	-8.06239	0.45152	-9.27039	-7.10227	N = 270
	Between		0.41422	-8.78960	-7.20495	n = 15
	Within		0.20705	-8.66872	-7.46797	T = 18
LLandfill	Overall	9.27e-09	0.77181	-2.83198	2.06211	N = 270
	Between		1.36e-07	-2.12e07	2.38e-07	n = 15
	Within		0.77181	-2.83198	2.06211	T = 18
LCren	Overall	-3.27e-08	0.35910	-0.85607	1.13998	N = 270
	Between		3.08e-07	-4.77e-07	4.24e07	n = 15
	Within		0.35910	-0.85607	1.13998	T = 18
LEfW	Overall	-5.48e-08	0.59713	-3.05472	1.96827	N = 270
	Between		2.69e-07	-4.77e-07	3.71e-07	n = 15
	Within		0.59713	-3.05472	1.96827	T = 18
LY	Overall	-3.53e-09	0.99814	-0.27156	0.20128	N = 270
	Between		2.52e-07	-3.71e-07	4.24e-07	n = 15
	Within		0.99814	-0.27156	0.20128	T = 18
LY2	Overall	0.00992	0.01325	4.01e-10	0.07374	N = 270
	Between		0.00693	0.00189	0.02326	n = 15
	Within		0.01143	-0.01323	0.06693	T = 18
LY3	Overall	-0.00058	0.00330	-0.02002	0.00815	N = 270
	Between		0.00058	-0.00167	0.00001	n = 15
	Within		0.00325	-0.01902	0.00763	T = 18

Note: The stata command xtsum was used to achieve the results for panel between and within statistics.

Tabela 39. Matriz de correlação dos resíduos e teste Breusch-Pagan LM test, painel UE, 1995-2012.

countries	Bélgica	Dinamarca	Alemanha	Espanha	França	Itália	Luemburgo	Países Baixos	Áustria	Suécia	Reino Unido	Hungria	República Theca	Portugal	Finlândia
Bélgica	1														
Dinamarca	-0.4858	1													
Alemanha	0.5226	-0.1193	1												
Espanha	-0.3529	0.7871	0.1019	1											
França	-0.2814	0.7322	0.0954	0.9167	1										
Itália	-0.5674	0.7682	-0.3695	0.7719	0.6999	1									
Luxemburgo	-0.4601	0.2318	-0.4121	-0.1915	-0.0679	0.0564	1								
Países Baixos	0.0973	-0.6205	-0.5494	-0.8633	-0.7573	-0.4397	0.2669	1							
Áustria	0.2646	-0.4170	0.3971	-0.1704	-0.1599	-0.5790	0.1069	-0.0888	1						
Suécia	-0.1431	-0.5835	-0.3632	-0.7482	-0.7338	-0.4113	0.4956	0.7321	0.2347	1					
Reino Unido	0.2971	-0.6019	-0.2290	-0.9385	-0.8506	-0.6684	0.2853	0.8523	0.0018	0.6563	1				
Hungria	-0.3464	0.6246	0.2064	0.8762	0.7273	0.5144	-0.0888	-0.8580	0.2169	-0.5266	-0.8741	1			
República Theca	-0.2767	0.6436	0.1069	0.8820	0.8980	0.6676	-0.0749	-0.7657	-0.0283	-0.6021	-0.8570	0.7164	1		
Portugal	-0.0001	0.6960	0.4767	0.8552	0.8154	0.4922	-0.3294	-0.9045	-0.1276	-0.9214	-0.8061	0.6975	0.7516	1	
Finlândia	0.1562	-0.5963	-0.3705	-0.9122	-0.7570	-0.5996	0.3967	0.9085	0.0065	0.9380	0.9380	-0.8893	-0.4322	-0.8476	1

Breusch-Pagan LM test of independence - based on 30 complete observations

chi2(105) =	505.079
Pr =	0.0000

Nota: resultado obtido com o comando Stata xtreg e xttest2

Tabela 40. Resultados modelos FE e RE

Variáveis	FE	RE
Constante	-7.9243***	-7.9091***
trend	-0.0161***	0.0159***
LLandfill	0.1188***	0.1189***
LCren	-0.0893**	-0.0904**
LEfW	0.0573***	0.0568***
LY	-0.4989**	-0.5000**
LY2	1.5508*	1.5470*
LY3	17.3763***	17.3973***
Teste de <i>Hausman</i>		
FE vs RE	χ^2_5	13.96**

Nota: ***, ** e * denota o nível de significância de 1%, 5% e 10%, respectivamente;

Tabela 41. Resultado do painel FE com erros padrão *Driscoll-Kraay*

Variáveis	Coefficiente	D-K/erros padrão	p-value
Constante	-7.9243	0.0432	0.000
Trend	-0.0161	0.0041	0.002
LLandfill	0.1188	0.0154	0.000
LCren	-0.0893	0.0286	0.007
LEfw	0.0573	0.0086	0.000
LY	-0.4989	0.1967	0.024
LY2	1.5508	0.6318	0.028
LY3	17.3763	2.7869	0.000
N	261		
F(7,14)	1469.55		
Prob>F	0.0000		
R2	0.7544		

Nota: a estimação foi obtida com o comando xtsc.