



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Ciências Sociais e Humanas

**Energia e Carbono:
As relações entre
Preços do Gás Natural, Eletricidade e Carbono**

Nuno Gonçalo da Silva Marques

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

Orientador: Prof. Doutor Alcino Fernando Ferreira Pinto Couto
Coorientadora: Prof. Rita Mafalda Dionísio Sousa

Covilhã, junho de 2013

Dedicatória

É com enorme honra que escrevo esta dedicatória porque no início de um percurso académico as emoções exprimem fé e expectativa; a meio, esperança e, no final, gratidão dos momentos nobres.

Sob o lema “as árvores valem pelos frutos e os homens distinguem-se pela atitude”, agradeço a todos os que fortaleceram a minha atitude e dedicação; sem eles este trabalho não seria possível...

Aos meus amáveis pais Agnelo e Angélica,

Aos meus irmãos João e Joana,

À minha família,

Aos meus amigos,

À Joana.

Agradecimentos

Devo gratidão a todos os professores e colegas que partilharam conhecimento e experiências, perspectivando maiores horizontes e espírito crítico. Em especial, um enorme bem-haja aos meus orientadores Professor Alcino Couto e Professora Rita Sousa pelo encorajamento, apoio, motivação, pelas sugestões, comentários e pela disponibilidade constante em nortear o melhor caminho a percorrer nesta dissertação.

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo verificar as relações entre os preços de carbono e as principais variáveis de energia relacionadas: eletricidade e gás natural; considerando ainda o papel da performance da economia. A determinação dos preços diários de carbono no regime de comércio de emissões da União Europeia, durante a 1ª Fase com obrigações de limites de emissões, é importante para a continuação do mercado na Fase III, pós-Quoto 2013-2020. Assim, este estudo considera o espaço de tempo da Fase II do mercado europeu de licenças de emissões 2008-2012.

Segue a metodologia de análise de causalidade de Granger, a partir do trabalho de Kepler (2010). Os resultados confirmam, em parte, resultados prévios já conhecidos apontando para uma possível relação de causalidade unidirecional entre o preço do Gás Natural e Eletricidade e ainda entre a economia e os preços de Gás Natural. São apresentadas algumas evidências de que o preço do carbono não é atualmente influenciado pelas variáveis consideradas, muito possivelmente devido aos baixos preços atuais do carbono.

Palavras-chave

Carbono; Causalidade Granger; Eletricidade; Energia; Gás Natural; Preços.

Abstract

This thesis intends to determine the relationship between carbon prices and the main related energy variables: electricity and natural gas, without forgetting the role of economic performance. The determination of daily carbon prices in the trading scheme of European Union, during the 1st phase, with imposition of emission limits, is important for the continuation of the market in a 3rd phase, post-Kyoto, 2013-2020.

The present study is focused in the 2008-2020 timeline, considered the 2nd phase of European market for emission licenses, following the Granger methodology of causalities analysis, from Kepler's work (2010). The results confirm, in part, the previous known results that indicated a possible unidirectional relationship of causality between the natural gas and electricity, as well as between the economic performance and the natural gas prices. It was also presented evidences that today's prices of carbon, possibly due to their low prices, are not influenced by the variables considered.

Keywords

Carbon; Electricity; Energy; Granger causality; Natural Gas; Prices.

Índice

1. Introdução	1
2. Mercado de Carbono	3
3. A relação entre os preços da energia e os preços de carbono.....	5
3.1. Revisão bibliográfica	5
3.2. Dados Utilizados.....	8
3.3. Modelo Explicativo	12
3.4. Resultados.....	14
4. Conclusões	16
5. Referências Bibliográficas.....	17

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução de preços *spot* de EUAs (€/EUA)

Figura 2 - Evolução de Preços *spot* de Gás Natural e Eletricidade (€/MWh)

Lista de Tabelas

Tabela 1 - *Pairwise Granger Causality Test*

Tabela 2 - Teste ADF Gás Natural

Tabela 3 - Teste ADF Mercado Acionista FTSE

Tabela 4 - Teste ADF Eletricidade

Tabela 5 - Teste ADF Carbono

Tabela 6 - Teste ADF Primeiras Diferenças Carbono

Tabela 7 - Teste ADF Primeiras Diferenças Eletricidade

Tabela 8 - Teste ADF Primeiras Diferenças Mercado Acionista FTSE

Tabela 9 - Teste ADF Primeiras Diferenças Gás Natural

Lista de Acrónimos

CELE	Comércio Europeu de Licenças de Emissão
CER	Reduções Certificadas de Emissões
CO ₂	Dióxido de Carbono
COP	Convenção das Partes
EUA	Direitos de Emissão Europeus (<i>European Union Allowance</i>)
FTSE	Índice Bolsista (<i>Financial Times Stock Exchange</i>)
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IC	Implementação Conjunta
IMO /WMO	Organização Internacional de Meteorologia /Organização Mundial de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MELE/ EU ETS	Mercado Europeu de Licenças de Emissão
MOP	Conferência das Partes do Protocolo de Quioto
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
UE	União Europeia
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Ambiente
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

1. Introdução

Alteração Climática significa uma modificação no clima, atribuível direta ou indiretamente à atividade humana, que altera a composição da atmosfera global e que, conjugada com as variações climáticas naturais, é observada durante períodos de tempo comparáveis¹.

Nos últimos anos tem aumentado a discussão internacional em torno da sustentabilidade do planeta e na racionalização dos recursos.

A humanidade, por cada ano, assiste à emissão de 35,5 bilhões de toneladas de CO₂, que provoca o aquecimento global. As alterações climáticas têm vindo a ser identificadas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta e a humanidade enfrentam na atualidade.

A resposta política a este problema requer uma ação concertada e assertiva, traduzida na tomada de medidas que minimizem as causas antropogénicas (ex. emissão de gases de efeito de estufa) e que preparem a sociedade para lidar com os seus impactes económicos e ambientais.

Uma das soluções passou pela criação de um mercado de emissões de gases com efeito de estufa, que a Europa replicou ao seu nível 'regional' - o MELE (Mercado Europeu de Licenças de Emissões), criado em 2005. O montante de emissões envolvido no MELE cresceu entre 2005 e 2010 de 322 milhões de toneladas de CO₂ para 70 mil milhões de toneladas de CO₂. Representa 82% das emissões de CO₂ (na UE) e é, de longe, o maior mercado de CO₂ no mundo (Capoor e Ambrosi, 2008).

Até agora, vários autores têm incidido os seus estudos sobre determinantes de preços de CO₂ Mansanet-Bataller *et al* (2007) e Alberola *et al.* (2008). Keppler (2013), por sua vez, analisou a interação dos preços de CO₂ diariamente com variáveis energéticas (eletricidade e gás natural) entre 2005 a 2008.

No entanto, não se conhece investigação após 2008 o que será importante para aumentar a compreensão da relação entre carbono, eletricidade, gás natural. Visto o mercado ser muito recente e ter passado por situações macroeconómicas muito específicas (crise económica pós 2007). A abordagem deste trabalho é por isso pertinente para colmatar as referidas lacunas na literatura.

O modelo causalidade de Granger foi selecionado por ser reconhecido para perceber a influência causa-efeito entre variáveis. Keppler (2010) aplica esta metodologia no seu trabalho. Aqui serão analisadas as relações entre os preços diários das licenças de emissão de CO₂ os preços de gás natural e eletricidade e ainda o mercado acionista (ftse), que funcionará como 'proxy' da performance económica europeia.

1 Artº 1º da Conferência Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas Definição de Alterações Climáticas

No próximo capítulo é apresentada uma descrição do mercado de carbono. No capítulo 3 as origens dos preços de carbono através da revisão bibliográfica, dados, modelo econométrico e resultados e por fim conclui-se o trabalho no capítulo 4.

2. Mercado de Carbono

A preocupação com as alterações climáticas e as potenciais influências das emissões de gases poluentes na atmosfera despoletaram, ainda no século XIX, várias iniciativas e eventos temáticos. Em 1873 surgiu a Organização Internacional de Meteorologia (IMO) que, em 1950, deu origem à Organização Mundial de Meteorologia (WMO), tornando-se na agência das Nações Unidas para questões ambientais. Em 1972 dá-se a Conferência de Estocolmo, a primeira convenção mundial sobre o meio ambiente, realizada na Suécia, e em 1979 a Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, que reconhece o aquecimento global como um problema grave e de interesse geral. Em 1988 a WMO e UNEP (Programa das Nações Unidas para o Ambiente) criam o IPCC (Painel intergovernamental para as alterações climáticas) com o objetivo de melhorar a cooperação entre os membros da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o aquecimento global. Em 1990, devido à recomendação do IPCC, a Assembleia-Geral da ONU inicia as negociações para a criação de uma Convenção sobre as Alterações Climáticas.

É criada em 1992 a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC) ², adotada pela ONU em 9 de maio, e assinada na Cimeira do Rio de Janeiro a 4 de junho. Esta convenção reúne-se anualmente, sendo de destacar a reunião de 1997, em Quioto, onde foram assinados os compromissos quantificáveis de redução de emissões de GEE (gases com efeito de estufa), e os mecanismos económicos de cumprimento daqueles objetivos.

Em concreto, o protocolo de Quioto estabeleceu o objetivo de reduzir as emissões globais de gases de efeito de estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonetos, perfluorcarbonetos e hexafluoreto de enxofre) em pelo menos 5% das em relação a 1990³. O Protocolo de Quioto institui ainda o Comércio de Emissões, o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)⁴ e a Implementação Conjunta (IC)⁵ como mecanismos de flexibilidade para cumprir os objetivos (isto é, permitindo conseguir as mesmas reduções a custos mais baixos). Nomeadamente, o comércio de emissões é o mecanismo de flexibilidade que oferece a possibilidade de comercializar direitos de emissão de GEE conforme as necessidades dos vários países.

Dentro das obrigações assinadas em Quioto, a UE ficou com o objetivo de reduzir em 8% as emissões de GEE, entre 2008 e 2012, com base em 1990. A Europa, utilizando também a possibilidade de ‘regionalizar’ os mecanismos de flexibilidade do Protocolo, criou um

2 Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC)

3 Parlamento Europeu (2003) Diretiva 2003/87/EC e Parlamento Europeu (2004) Diretiva 2004/101/EC

4 MDL envolve investimento em projetos de desenvolvimento sustentável que reduzam as emissões nos países em desenvolvimento (UNFCCC)

5 IC permite que países industrializados realizem projetos de implementação conjunta com outros países desenvolvidos. (UNFCCC)

mercado de emissões ‘interno’, chamado MELE (Mercado Europeu de Licenças de Emissões), em que no global se pretende atingir os 8% de redução, mas tendo dividido este objetivo pelos diferentes países europeus. Por exemplo, Portugal ficou com o objetivo de poder aumentar até um limite de 27% as suas emissões entre 2008-2012, com base em 1990.

Este trabalho foca-se no preço de carbono indicado pelo mercado de emissões europeu.

O MELE é o maior esquema de comércio de emissões existente no Mundo, transacionando à volta de 2 298,5 milhões de toneladas de CO₂ eq. entre o período de 2005 e 2007, segundo a Comissão Europeia. O MELE é apontado como a “pedra angular” da UE que permite ajudar os Estados-Membros a cumprir os compromissos de limitação ou redução das emissões de gases com efeito de estufa. (Comissão Europeia para o Ambiente e Alterações Climáticas).

Os países ao abrigo do CELE (Comercio Europeu de Licenças de Emissão) são Áustria, Malta República Checa, Polónia, Estónia, Roménia, Letónia, Eslováquia, Bélgica, Holanda, Dinamarca, Portugal, Finlândia, Eslovénia, Lituânia, Chipre, França, Espanha, Alemanha, Reino Unido, Itália, Liechtenstein, Luxemburgo, Grécia, Suécia, Hungria, Bulgária. Irlanda e Noruega.

O MELE funciona sobre um sistema *cap-and-trade* em que existe um teto máximo de emissões permitidas e em que os agentes (mais de 12 000 emissores no sector da produção de eletricidade e outros sectores industriais e utilização intensiva de energia da UE 27) podem comprar e vender licenças de emissão. Em suma, este processo permite disponibilizar no mercado e/ou vender a quem emitir menos do que previsto, licenças adicionais a fim de cobrir as necessidades de outro agente. Esta possibilidade de comercializar de forma flexível garante redução de emissões e a orientação para investimentos direcionados para menor emissão de GEE.

O mercado de carbono para as empresas é de extrema importância. A criação deste mercado permite às empresas fazer uma gestão eficiente do ativo, os direitos de emissão, bem como do seu eventual passivo, derivado da obrigação de, algumas empresas, terem que entregar os direitos de emissão correspondentes às suas emissões reais. Este mercado funciona também como mais um ativo para a diversificação das carteiras de investimento e mais uma fonte de rentabilidade.

A EUA, ou «*Emission Unit Allowance*» isto é, a licença de emissão do MELE, dá ao agente o direito de emitir uma tonelada de CO₂ eq.. É esta a limitação do número total de licenças de emissão que cria a escassez no mercado.

O MELE foi estruturado em três fases de implementação, sendo a primeira fase (considerada piloto) de 1 janeiro de 2005 até ao final 2007; a segunda fase de 2008 a 2012; e a terceira fase de 2013 a 2020 (Mansanet -Bataller 2008).

3. A relação entre os preços da energia e os preços de carbono

3.1. Revisão bibliográfica

Na produção científica que relaciona as variáveis-objeto deste estudo (preços de carbono, energia e performance económica), encontramos alguns trabalhos recentes a partir dos quais se constrói o estudo apresentado no capítulo seguinte.

Segundo Perdan e Azapagic (2011), no cenário macroeconómico de queda de 0,6% do PIB mundial em 2009, e 3,2% nas economias industrializadas, o mercado de carbono demonstrou resiliência e manteve o interesse dos agentes, expandindo-se não apenas a novos setores como em termos geográficos.

Chevallier (2012) contribui com uma revisão das análises empíricas dos mercados de carbono e dos métodos para análise de formação de preços. Benz e Trück (2009) e Paoletta *and* Taschini (2008) analisam a formação de preços EUA na Fase I das EU ETS. Christiansen *et al.* (2005) debruçam-se sobre determinantes de preço e fundamentos de mercado.

Na revisão de literatura de Zhang (2010), as investigações são divididas em 3 eixos: efeitos económicos, efeito sobre a indústria de energia e mecanismos de preços. Zhang concretiza EU ETS como mecanismo importante para enfrentar as alterações climáticas. O mecanismo de funcionamento EU ETS e o efeito económico em indústrias de energia tem atraído muita discussão. Zhang (2010) no mecanismo de preços entre o mercado acionista e mercado de carbono, revela que a mudança de preço do carbono foi positivamente relacionado com os retornos das ações das empresas elétricas, embora diferindo de país para país. Existe, ainda impacto importante dos mercados financeiros e valores afetados das empresas elétricas. Zhang (2010) revela ainda que não pode ser identificada fraca relação entre o preço de energia e preços futuros de carbono na primeira fase. Na segunda fase, uma relação de equilíbrio de longo prazo entre os preços de energia e os preços de futuros de carbono, bidirecional, pode ser encontrada usando metodologia teste de Causalidade de Granger. Kanen (2006) considerou que a variação do preço do gás natural pode afetar a mudança dos preços de eletricidade e preços do carbono. Convery (2007) constatou que os preços de energia foram os mais importantes motores dos preços de carbono.

A este respeito, Alberola (2009) argumentou que o preço da energia, políticas excepcionais das alterações climáticas e decisões institucionais foram considerados como os três fatores mais importantes que afetam a variação de preços do carbono. Sob o sistema *cap-and-trade* de emissão do MELE, o CO₂ tornou-se um tipo de bens comercializáveis.

Nordhaus (2010) argumenta que um imposto sobre carbono acrescentaria melhorias na sustentabilidade fiscal e ambiental nos Estados Unidos. É espectável que os EUA venham a ter o segundo maior mercado de comércio de emissões do mundo.

Ainda no estudo do mercado carbono existiram outras contribuições como Alberola (2008) que avaliou a influência da informação nas flutuações dos preços diários de EUAs, entre 2005 e 2007. Como resultados os preços *spot* das EUAs não reagem só aos preços de energia mas também para mudanças de temperatura inesperadas.

Também Daskalakis (2009) estudou, através das fontes de dados Powernext, Nord Pool e ECX, a influência do preço de derivados entre as diferentes fases das EU ETS. A análise sugere que a proibição de transferências de EUAs entre fases distintas tem implicações nos preços de futuros.

Cummins (2013) emprega a análise dos preços EUA e CER durante o período da Fase II do EU ETS através de autoregressão vetorial e testes de causalidade.

Mansanet Bataller (2007) identificaram relações entre preços do carbono e preços de energia (eletricidade e gás natural) e a ocorrência de eventos de alterações climáticas durante a Fase I.

Aatola (2013) investigou sobre a determinação dos preços de EUAs e os fundamentos de mercado. Os preços diários, na série cronológica de 2005 a 2010 foram testados vários modelos econométricos para descobrir a forte relação entre os preços de eletricidade alemães, gás natural, preços de carvão e preços de EUAs. Como resultados Aatola apresenta que os preços de EUAs a prazo dependem das variáveis já mencionadas, especialmente o preço da eletricidade, de gás e carvão.

Aatola (2013) vinca o interesse da relação entre preços de eletricidade e EUAs, sendo que os preços não têm seguido a mesma tendência. Representando um quarto da eletricidade europeia o gás natural tem um papel importantes no mix energético europeu.

Neste estudo recente, Aatola (2013), com a série cronológica de 2005 a 2010, para além das variáveis energéticas, é incluído o índice bolsista FTSE 250 do London Stock Exchange.

Keppler and Mansanet- Bataller (2010) apresentam factos estilizados na investigação subjacente à causalidade entre mercado acionista, meteorológica, carbono e energia, durante a Fase I e primeiro ano da Fase II da EU ETS. Conclui que na Fase I os preços futuros de carbono têm relação com preços à vista de carbono; os preços de energia e alterações climáticas inesperadas são causa dos preços futuros de carbono; na Fase II (primeiro ano) os preços de energia têm causalidade bidirecional com os futuros de carbono; os preços de carbono têm relação de causalidade com os preços de gás.

Assim, é demonstrada a pertinência da investigação sobre a relação de causalidade dos preços de carbono, negociados na Fase II, com variáveis energéticas (eletricidade e gás natural), e mercado acionista.

3.2. Dados Utilizados

Na linha das investigações indicadas no capítulo prévio, as influências mais relevantes indicadas incluem as relações entre os preços de Eletricidade, de Gás Natural e da economia. Foram, por isso, estas as variáveis selecionadas. Não se consideraram outras energias porque ou não têm emissões de GEE (como o nuclear, ou as renováveis), ou são energias com altas emissões, e que se planeiam extinguir no futuro (caso do carvão).

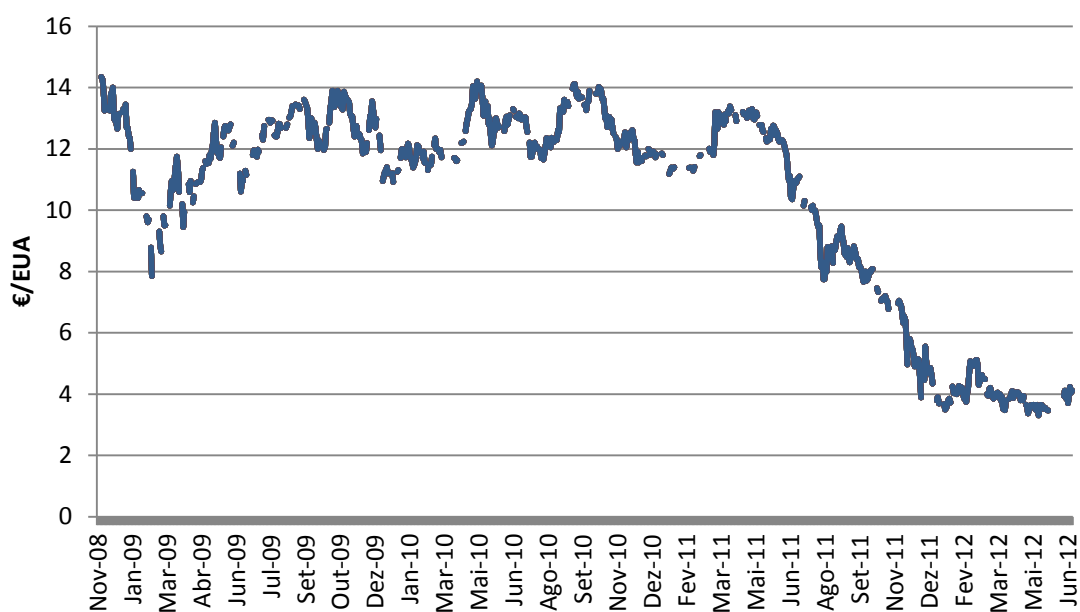
3.2.1. Preços de Carbono: EUAs

Segundo Mansanet (2007), os mercados *spot* estão a ganhar cada vez mais importância, sendo que em 2008 houve 250 milhões de toneladas de CO₂ eq. negociadas no mercado *Bluenext*⁶. A *Bluenext* é uma bolsa ambiental, criada pela *NYSE Euronext* e a *Caisse des Dépôt*, com objetivo de se tornar uma bolsa global com um papel ativo na redução das emissões e com intenção de chegar aos países da Ásia e da América.

Assim, os preços de carbono selecionados foram os preços *spot* das licenças do mercado Europeu (EUAs) recolhidos na *Bluenext*, de 26 de novembro de 2008 a 3 de julho de 2012. A *Bluenext* era, então, o mercado local mais importante em termos de volume. Uma licença EUA equivale a uma tonelada de CO₂ eq..

A série cronológica incidente sobre a Fase 2 da EU ETS perfaz 850 observações.

Figura 1: Evolução de preços *spot* de EUAs (€/EUA)



Fonte: Bluenext

⁶ Atualmente as licenças são transacionadas noutros mercados, uma vez que a Bluenext faliu.

Nesta figura os preços à vista de carbono apresentam uma descida ao longo do tempo de cerca de dez euros em relação ao preço inicial da Figura 1. A principal razão da descida constante dos preços é usualmente apontada como tendo sido a sobre a locação de licenças no mercado. Excesso de oferta provoca uma queda no preço quando a procura não aumenta. Os preços de EUAs apresentam a média de 10,62€; o máximo de 14, 69€ (02/12/08); o mínimo de 3,47€ (18/05/12).

3.2.2. Preços de Energia: Eletricidade e Gás Natural

Daskalakis (2009) e Keppler (2010) analisaram a relação entre as EUA e variáveis energéticas, em particular gás natural e eletricidade, e recolheram dados da Powernext.

Os preços *spot* ou à vista de eletricidade considerados foram recolhidos da Enerdata. São dados diários em que a unidade é €/Mwh Os preços de eletricidade têm como referência geográfica a Alemanha.

Totalizam-se 414 observações entre o dia 13 de outubro de 2011 até 03 de julho de 2012

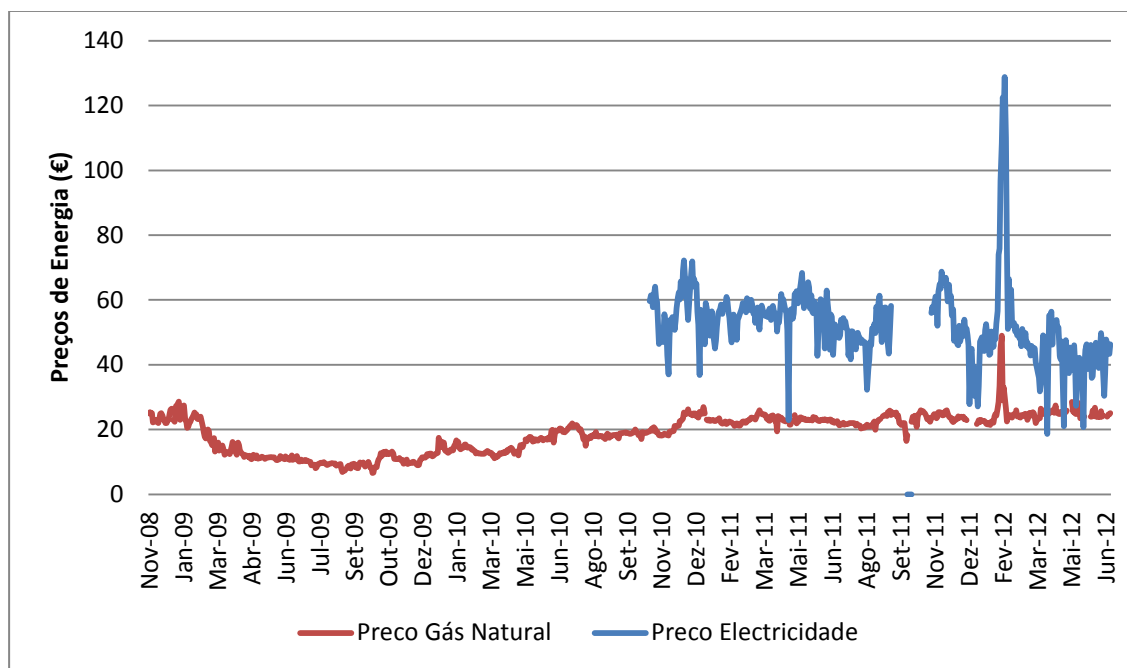
Os preços *spot* de Gás Natural têm fonte na Powernext em que a Unidade é €/MWh Os dados têm 878 observações e têm como referência geográfica a França.

França e Alemanha assumem pertinência da utilização dos seus dados energéticos explicados pelo seu desenvolvimento, forte consumo energético e forte ambição na redução de emissões de carbono (79% e 100% respetivamente)⁷.

Alemanha é o maior consumidor de eletricidade da Europa e o quinto maior consumidor de energia do mundo, segundo o Eurostat.

⁷ Compromisso quantificado de redução de emissões (Anexo B do Protocolo de Quioto)

Figura 2: Evolução de Preços spot de Gás Natural e Eletricidade (em €/MWh)



Fonte: Enerdata e Powernext

A evolução dos preços de gás e de eletricidade, apesar das oscilações e alguns picos de preço entre 2008 e 2012 revelam-se de alguma forma harmonizados.

3.1.3. Preços do Mercado Acionista (FTSE)

Aatola (2013) realçou no seu estudo a importância da performance económica, para além das variáveis energéticas, em particular do mercado acionista com *FTSE 250* do *London Stock Exchange*.

Assim, torna-se atrativo estudar o papel da economia, traduzido pela evolução da bolsa de ações, na fase II das EU ETS, que neste caso é representada pelo Índice *FTSE 100*. De salientar o facto da Economia Mundial após 2008 não ter taxas de crescimento económico altas e o que se fará refletir nas cotações das empresas em bolsa. No sentido de perceber a relação do mercado acionista com as variáveis energéticas e o carbono, complementou-se o estudo com o *FTSE 100*⁸ com dados provenientes da *Yahoofinance*. Este é um índice que representa a bolsa de valores de Londres (100 maiores empresas do Reino Unido).

O facto do índice em observação ser oriundo do Reino Unido, segundo a Point Carbon, despoleta maior interesse por possuir maior percentagem de compra de CERs (46% em 2007).

⁸ A unidade das variáveis em estudo apresentando-se em euros e o índice em libras, tornou necessário converter através de taxas de câmbio (www.ecb.int)

3.3. Modelo Explicativo

A teoria económica dos mercados de emissões supõe que os preços de carbono influenciem os preços da energia, deslocando a produção para fontes menos emissoras. O preço do carbono deverá, assim, estar incorporado no preço da eletricidade. Por outro lado, espera-se que a matéria-prima ‘gás natural’ influencie o preço da eletricidade e consequentemente o preço do carbono.

Segundo Granger (1988), a causalidade pode traduzir-se num teste de hipóteses estatístico para determinar numa série cronológica ou temporal a relação de uma variável com outra. Isto não se conhecendo a relação real entre as variáveis. A causalidade de Granger, embora com outra incidência de espaço temporal, foi alvo de escolha de Keppler (2010) na sua abordagem das relações entre variáveis do mecanismo de preço do mercado de carbono.

Um dos problemas comuns nas séries temporais é o facto de os elementos em estudo poderem ser instáveis ou com média, variância e auto-covariância não constantes ao longo do tempo. Este problema designa-se por “não estacionaridade” que, estando presente nos dados em estudo, faz com que os testes usuais das estimativas OLS deixam de fazer sentido, uma vez que viola os pressupostos do modelo clássico da regressão linear.

Daskalakis (2009) notou a suscetibilidade da não-estacionaridade em séries cronológicas no mecanismo preço do carbono.

Para além disso, a existência de uma forte relação entre duas variáveis não implica ainda necessariamente uma relação causal. Se estas forem não estacionárias e não co-integradas poderemos estar na presença de uma relação espúria.

Portanto é necessário usar ferramentas para detetar a existência de estacionaridade. O teste mais usual para este tipo de casos é o teste ADF (*Augmented Dickey-Fuller*)⁹ que testa a hipótese nula de não estacionaridade. Após confirmada a estacionariedade dos dados através daquele teste, e para solucionar o problema, transformaram-se os dados através das primeiras diferenças ou diferenças de primeira ordem. (tabelas 7 a 11, em anexo).

Os dados resultantes das variáveis, agora estacionárias, foram alvo do teste de causalidade de Granger¹⁰.

⁹ Teste ADF é usado para o estudo da característica de estacionaridade das séries.

¹⁰ O *software* econométrico utilizado foi o EViews7 para tratamento e análise de dados.

Assim, o modelo explicativo desenvolvido para aplicação de metodologia econométrica de Testes de Causalidade de Granger para examinar as relações entre carbono, as variáveis energéticas e o mercado acionista foi:

$$\begin{aligned} DC_t &= \sum a_i DG_{t-i} + \sum b_i DE_{t-i} + \sum c_i DF_{t-i} + u_{1t} \\ DG_t &= \sum d_i DC_{t-i} + \sum e_i DE_{t-i} + \sum f_i DF_{t-i} + u_{2t} \\ DE_t &= \sum g_i DG_{t-i} + \sum h_i DC_{t-i} + \sum i_i DF_{t-i} + u_{3t} \end{aligned}$$

Onde DC (1ª diferença dos preços do carbono); DG (1ª diferença dos preços do gás natural); DE (1ª diferença dos preços de eletricidade); DF (1ª diferença dos preços FTSE) são variáveis no momento t (tempo em dias) com desfasamento i e resíduos u.

Em relação à escolha do número de desfasamentos (*lags*) nos testes, usou-se o critério Schwarz (SIC)¹¹. Os resultados dos testes são sensíveis ao número de desfasamentos (*lag*) especificados, pelo que foi escolhido 2 *lags* até perfazer significância estatística.

¹¹ O Critério Schwarz serve para averiguar o número de desfasamentos (*lags*) adequados.

3.4. Resultados

A aplicação do modelo apresentado resultou na seguinte informação:

Tabela 1 - Resultados dos Testes de Causalidade de Granger

Pairwise Granger Causality Tests

Sample: 1 930

Lags: 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
DPRECO_ELECTRICIDADE does not Granger Cause DPRECO_CARBONO DPRECO_CARBONO does not Granger Cause DPRECO_ELECTRICIDADE	217	0.11940 0.55248	0.8875 0.5763
DPRECO_GAS_NATURAL does not Granger Cause DPRECO_CARBONO DPRECO_CARBONO does not Granger Cause DPRECO_GAS_NATURAL	424	2.11832 1.33042	0.1215** 0.2655
DPRECO_FTSE does not Granger Cause DPRECO_CARBONO DPRECO_CARBONO does not Granger Cause DPRECO_FTSE	465	0.36218 0.31100	0.6964 0.7329
DPRECO_GAS_NATURAL does not Granger Cause DPRECO_ELECTRICIDADE DPRECO_ELECTRICIDADE does not Granger Cause DPRECO_GAS_NATURAL	311	22.3738 1.20404	9.E-10* 0.3014
DPRECO_FTSE does not Granger Cause DPRECO_ELECTRICIDADE DPRECO_ELECTRICIDADE does not Granger Cause DPRECO_FTSE	364	2.53134 0.97706	0.0810** 0.3774
DPRECO_FTSE does not Granger Cause DPRECO_GAS_NATURAL DPRECO_GAS_NATURAL does not Granger Cause DPRECO_FTSE	794	3.27653 0.46966	0.0383* 0.6254

Elaboração Própria

Na análise de resultados, a série cronológica de 2008 a 2012 (Fase II do EU ETS), com 5% de significância (*) têm como resultados a causalidade unidirecional entre as variáveis Preços Gás Natural e Eletricidade (Prob. 9.E-10) e entre o mercado acionista FTSE e os preços de Gás Natural (Prob. 0,0383).

A 10% de significância (**) não se rejeita a hipótese da performance económica não afetar o preço da eletricidade, e marginalmente (12% de significância) também poderá não se rejeitar a hipótese do preço do gás natural não influenciar o preço do carbono.

Keppler and Mansanet- Bataller (2010) têm como resultados da investigação causalidade bidirecional subjacente às variáveis de energia com os futuros de carbono e causalidade na relação dos preços de carbono com os preços de gás na Fase II (primeiro ano). Naturalmente os resultados não são comparáveis pois os dados originais não são os mesmos, nem se trata do mesmo espaço temporal.

Os resultados apresentados apontam no sentido de não se poder dizer que o mercado de carbono esteja realmente a funcionar como esperado. Não é clara a influência do carbono no preço de eletricidade, o que seria o resultado desejável. No entanto, as evidências encontradas são coerentes tanto com a atual conjuntura económica de crise como com a possível sobre a locação de licenças que houve de quase 2 biliões de licenças. (Comissão Europeia). Isto é: o gás natural, sendo a “matéria-prima” da eletricidade considerada, influencia o seu preço. No entanto, muito possivelmente dada a grande inelasticidade da procura da eletricidade, mesmo com uma quebra na atividade económica, a procura por esta energia final não é possivelmente afetada.

4. Conclusões

A UE propôs-se a aumentar de 20% para 30% a sua taxa de redução de emissões de GEE até 2020, se outras economias importantes aceitarem cumprir a sua parte num esforço internacional. E, a longo prazo, a UE estabeleceu o objetivo de reduzir, até 2050, as emissões para um nível que seja 80% a 95% inferior aos níveis de 1990. (Comissão Europeia)

Keppler (2010) desvendou o impacto do preço da eletricidade nos preços futuros EUA sendo estatisticamente significativa. Aatola (2013) obteve resultados que dão conta de causalidade entre os fundamentos de mercado como os preços da eletricidade alemães, gás natural, os preços do carvão e o preço EUA entre 2005 e 2010.

A presente dissertação incide sobre as relações existentes entre as variáveis no período temporal de 2008 a 2012. Por conseguinte, houve um contributo para a análise fase II do MELE fomentando o estudo com variáveis importantes de energia (eletricidade e gás natural), e de mercado acionista (ftse).

Na análise de resultados com 5% de significância (*) têm como resultados a causalidade unidirecional entre as variáveis Preços Gás Natural e Eletricidade (Prob. 9.E-10) e entre o mercado acionista FTSE e os preços de Gás Natural (Prob. 0,0383).

A 10% de significância (**) não se rejeita a hipótese da performance económica não afetar o preço da eletricidade, e marginalmente (12% de significância) também poderá não se rejeitar a hipótese do preço do gás natural não influenciar o preço do carbono.

Dada a atual situação económica de crise e de sobre a locação de licenças no mercado, seria útil a continuação do estudo em condições de mercado mais 'equilibradas', nomeadamente no período 2013-2020, pós a reformulação do MELE. Outra possibilidade interessante será a inclusão de variáveis meteorológicas e outros sectores, como dos transportes.

5. Referências Bibliográficas

Aatola, Piia, Ollikaine, Markku e Topp (2013) "Price determination in the EU ETS market: Theory and econometric analysis with market fundamentals" Volume 36, Pages 380-395, Energy Economics.

Alberola, E., Chevallier, J e Cheze, B. (2009) "Emissions Compliances and Carbon Prices under the EU ETS: A Country Specific Analysis of Industrial Sectors" Volume 31, Issue 3, Pages 446-462 Climate Change and Energy Policy.

Alberola, J. Chevallier and B. Cheze (2008) "Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005-2007" 36, pp 787-797 Energy Policy.

Alberola, J. Chevallier and B. Cheze (2008) "The EU Emissions Trading Scheme: the effects of industrial production and CO₂ emissions on European carbon prices", Int Econ 116 (4), pp. 95-128.

Austin, Miles (2007) "The business of carbon trading" Volume 8, Issue 5, Pages 60-62, 64 Renewable Energy Focus.

Benz e Trück (2009) "Modelling the price dynamics of CO₂ emission allowances", 31, pp. 5-15 Energy Policy.

Bredin, Don e Cal, M. (2011) "An emerging equilibrium in the EU emissions trading scheme" Energy Economics, Volume 33, Issue 2, pp. 353-362.

Capoor, K. and Ambrosi, P. (2010) "State and Trends of the Carbon Market", World Bank: Washington, DC.

Chevallier, J (2008) "Econometric Analysis of Carbon Markets: The European Union Emissions Trading Scheme and the Clean Development Mechanism", Springer.

Chevallier, J. (2012) "Econometrics of carbon markets: The European Union Emissions Trading Scheme and the Clean Development Mechanism", Springer.

Christiansen, A., Arvanitakis, A., Tangen, K. e Hasselknippe, H. (2005) "Price determinants in the EU emissions trading scheme", 5, pp 15-30 Climate Policy.

Christiansen, Atle (2003) "Here's the crunch on emissions - EU carbon dioxide trading set to start in earnest" Elsevier Science.

Creti, A., Jouvét, P. and Mignon, V. (2011) "Carbon Price Drivers: Phase I versus Phase II Equilibrium?" CEPII, WP Jel Classification Q4, C22.

Cummins, Mark (2013) "EU ETS market interactions: The case for multiple hypothesis testing approaches", Volume 111, Pages 701-709 Applied Energy.

Daskalakis, D., Psychoyios and RN Markellos (2009) "Modeling CO₂ emission allowance prices and derivatives: evidence from the European trading scheme", J Bank Finance 33 (7), pp. 1230-1241.

Ellerman, A., Denny; Buchner, Barbara K. (2007). "The European Union Emissions Trading Scheme: Origins, Allocation, and Early Results". Review of Environmental Economics and Policy 1 (1): 66-87.

Feng, Z., Zou, L. e Yi, M. (2011) "Carbon price volatility: Evidence from EU ETS" Volume 88, Issue 3, pp. 590-598.

Granger C W J (1988), "Some recent developments in a concept of causality", 39, p. 199-211, Journal of econometrics.

J. Chevallier e B. Cheze, (2008) "Price drivers and structural breaks in European carbon prices" 2005-2007, 36 (2), pp. 787-797 Energy Policy.

Kanen J.L.M., (2006) Carbon Trading and Pricing. Environmental Finance Publications.

Keppler, Jan Horst Mansanet-Bataller, Maria (2010) "Causalities between CO₂, electricity, and other energy variables during phase I and phase II of the EUETS".

Mansanet-Bataller and Pardo, 2008 What you should know about carbon markets Energies, 1 (2008), pp. 120-153

Mansanet-Bataller, Maria, Chevalier, J., Hervé-Mignucc, Morgan e Alberola, Emilie (2011) "EUA and CER phase II price drivers: Unveiling the reasons for the existence of the EUA-sCER spread" Volume 39, Issue 3, 1056-1069 Energy Policy.

Milunovich G, Joyeux R. (2007) "Testing market efficiency and price discovery in European carbon markets". Macquarie University, Macquarie economics research papers.

Nordhaus, William D. (2010) "Carbon Taxes to Move Toward Fiscal Sustainability", The Economists' Voice Vol.7, Issue 3.

Paolella, M. e Taschini, L. (2008) "An econometric analysis of emissions trading allowances" 32, pp- 2022-2032, Journal of Banking e Finance.

Perdan e Azapagic (2011) “Carbon trading: Current schemes and future developments“, Volume 39, Issue 10, Pages 6040-6054 Energy Policy.

Weber, T e Karsten, N. (2010) “Carbon markets and technological innovation“, Journal of Environmental Economics and Management Volume 60, Issue 2 , Pages 115-132.

Zhang, Y. e Wei, Y. (2010). “An overview of current research on EU ETS: Evidence from its operating mechanism and economic effect” Applied Energy, Volume 87, Issue 6, Pages 1804-1814.

Sites

Banco Central Europeu: <https://www.ecb.europa.eu/home/>

Blunext: <http://www.blunext.eu>

Comissão Europeia: http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

Enerdata: <http://www.enerdata.net/>

Europa Press Releases Rapid Memo/08/ 35: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-08-35_en.htm
<http://finance.yahoo.com/q?s=%5EFTSE>

Eurostat: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>

Powernext: <http://www.powernext.com/>

UNFCCC: <http://unfccc.int/>

Apêndice

Tabela 2 - Teste ADF Gás Natural

Null Hypothesis: PRECO_GAS_NATURAL has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=20)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-4.572363	0.0012
Test critical values:		
1% level	-3.969066	
5% level	-3.415200	
10% level	-3.129803	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_GAS_NATURAL)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 2 930
 Included observations: 836 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRECO_GAS_NATURAL(-1)	-0.047158	0.010314	-4.572363	0.0000
C	0.544410	0.150613	3.614618	0.0003
@TREND(1)	0.000751	0.000230	3.264669	0.0011
R-squared	0.024536	Mean dependent var		-0.002452
Adjusted R-squared	0.022194	S.D. dependent var		1.283857
S.E. of regression	1.269530	Akaike info criterion		3.318753
Sum squared resid	1342.552	Schwarz criterion		3.335722
Log likelihood	-1384.239	Hannan-Quinn criter.		3.325258
F-statistic	10.47627	Durbin-Watson stat		2.254292
Prob(F-statistic)	0.000032			

Elaboração própria

Tabela 3 - Teste ADF Mercado Acionista FTSE

Null Hypothesis: PRECO_FTSE has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=20)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-7.126633	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.968453	
5% level	-3.414900	
10% level	-3.129625	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_FTSE)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 2 930
 Included observations: 885 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRECO_FTSE(-1)	-0.110175	0.015460	-7.126633	0.0000
C	549.5494	78.14327	7.032588	0.0000
@TREND(1)	0.270578	0.047443	5.703269	0.0000
R-squared	0.054453	Mean dependent var		2.013412
Adjusted R-squared	0.052309	S.D. dependent var		229.6107
S.E. of regression	223.5246	Akaike info criterion		13.66030
Sum squared resid	44067596	Schwarz criterion		13.67653
Log likelihood	-6041.685	Hannan-Quinn criter.		13.66651
F-statistic	25.39680	Durbin-Watson stat		2.785686
Prob(F-statistic)	0.000000			

Elaboração Própria

Tabela 4 - Teste ADF Eletricidade

Null Hypothesis: PRECO_ELETRICIDADE has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=17)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.248026	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.446083	
5% level	-2.868370	
10% level	-2.570474	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_ELETRICIDADE)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 486 930
 Included observations: 410 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PRECO_ELETRICIDADE(-1)	-0.126435	0.024092	-5.248026	0.0000
C	6.546280	1.289626	5.076107	0.0000
R-squared	0.063236	Mean dependent var		-0.027317
Adjusted R-squared	0.060940	S.D. dependent var		6.412006
S.E. of regression	6.213563	Akaike info criterion		6.496212
Sum squared resid	15752.21	Schwarz criterion		6.515803
Log likelihood	-1329.723	Hannan-Quinn criter.		6.503963
F-statistic	27.54178	Durbin-Watson stat		2.010453
Prob(F-statistic)	0.000000			

Elaboração Própria

Tabela 5 - Teste ADF Carbono

Null Hypothesis: D(PRECO_CARBONO) has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=19)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.09890	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.569768	
5% level	-1.941482	
10% level	-1.616258	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_CARBONO,2)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 7 930
 Included observations: 482 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PRECO_CARBONO(-1))	-1.002908	0.045383	-22.09890	0.0000
R-squared	0.503779	Mean dependent var		0.002158
Adjusted R-squared	0.503779	S.D. dependent var		0.359813
S.E. of regression	0.253463	Akaike info criterion		0.094872
Sum squared resid	30.90104	Schwarz criterion		0.103540
Log likelihood	-21.86416	Hannan-Quinn criter.		0.098279
Durbin-Watson stat	1.949240			

Elaboração Própria

Tabela 6 - Teste ADF Primeiras Diferenças Carbono

Null Hypothesis: D(PRECO_CARBONO) has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=19)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-22.09890	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.569768	
5% level	-1.941482	
10% level	-1.616258	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_CARBONO,2)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 7 930
 Included observations: 482 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PRECO_CARBONO(-1))	-1.002908	0.045383	-22.09890	0.0000

R-squared	0.503779	Mean dependent var	0.002158
Adjusted R-squared	0.503779	S.D. dependent var	0.359813
S.E. of regression	0.253463	Akaike info criterion	0.094872
Sum squared resid	30.90104	Schwarz criterion	0.103540
Log likelihood	-21.86416	Hannan-Quinn criter.	0.098279
Durbin-Watson stat	1.949240		

Elaboração Própria

Tabela 7- Teste ADF Primeiras Diferenças da Eletricidade

Null Hypothesis: D(PRECO_ELETRICIDADE) has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=17)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-21.48191	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.570656	
5% level	-1.941604	
10% level	-1.616177	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_ELETRICIDADE,2)
 Method: Least Squares

Sample (adjusted): 487 930
 Included observations: 407 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PRECO_ELETRICIDADE(-1))	-1.066366	0.049640	-21.48191	0.0000
R-squared	0.531971	Mean dependent var		0.020147
Adjusted R-squared	0.531971	S.D. dependent var		9.384745
S.E. of regression	6.420350	Akaike info criterion		6.559276
Sum squared resid	16735.68	Schwarz criterion		6.569126
Log likelihood	-1333.813	Hannan-Quinn criter.		6.563174
Durbin-Watson stat	2.017482			

Fonte; Elaboração Própria

Tabela 8 - Teste ADF Primeiras Diferenças do Mercado Acionista FTSE

Null Hypothesis: D(PRECO_FTSE) has a unit root
 Exogenous: None
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=20)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-47.42387	0.0001
Test critical values:		
1% level	-2.567638	
5% level	-1.941190	
10% level	-1.616453	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation
 Dependent Variable: D(PRECO_FTSE,2)

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 3 930

Included observations: 865 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PRECO_FTSE(-1))	-1.444512	0.030460	-47.42387	0.0000
R-squared	0.722456	Mean dependent var		-0.526233
Adjusted R-squared	0.722456	S.D. dependent var		394.3550
S.E. of regression	207.7559	Akaike info criterion		13.51176
Sum squared resid	37292414	Schwarz criterion		13.51727
Log likelihood	-5842.836	Hannan-Quinn criter.		13.51387
Durbin-Watson stat	2.270226			

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 9 - Teste ADF Primeiras Diferenças Gás Natural

Null Hypothesis: D(PRECO_GAS_NATURAL) has a unit root

Exogenous: None

Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=20)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-32.20867	0.0000
Test critical values:		
1% level	-2.567856	
5% level	-1.941219	
10% level	-1.616433	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(PRECO_GAS_NATURAL,2)

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 3 930

Included observations: 800 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(PRECO_GAS_NATURAL(-1))	-1.137102	0.035304	-32.20867	0.0000
R-squared	0.564901	Mean dependent var		0.008375
Adjusted R-squared	0.564901	S.D. dependent var		1.950323
S.E. of regression	1.286472	Akaike info criterion		3.342934
Sum squared resid	1322.354	Schwarz criterion		3.348790
Log likelihood	-1336.174	Hannan-Quinn criter.		3.345183
Durbin-Watson stat	2.024856			

Fonte: Elaboração Própria