

**O Impacto do Preço do Petróleo nas Empresas
de Energia Renovável:
Uma Análise Empírica usando Vetores
Autoregressivos.**

Thaís Luany Cardoso Theodoro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor João Dionísio Monteiro

julho de 2021

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, me ajudaram a chegar até aqui. Aos meus pais, Angela e Paulo, que me ensinaram a acreditar nos meus sonhos. Ao Edson, que deposita mais fé em mim do que eu mesma.

Agradecimentos

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia Electromecânica da Universidade da Beira Interior, que busca os melhores caminhos para o desenvolvimento de seus alunos. Em especial, à Prof. Dra. Tânia Daniela Felgueiras de Miranda Lima, que além de grande professora, me deu um suporte durante esta jornada pelo qual serei sempre grata.

Ao Prof. Doutor João Dionísio Monteiro, a quem devo um profundo agradecimento por ter aceitado ser meu orientador neste desafio e a quem agradeço por todo apoio, disponibilidade e compreensão que me forneceu durante o desenvolvimento deste trabalho e, sem o qual, a concretização desta etapa não teria sido possível.

Resumo

Nos últimos anos, o aumento da procura por energia combinado com o desenvolvimento tecnológico e surgimento de tecnologias orientadas para a produção e armazenamento de energias renováveis, as preocupações com os efeitos das alterações climáticas e a implementação de políticas ambientais mais rigorosas, levou a que as relações entre o mercado de energias fósseis e o mercado de energias renováveis se tornassem o alvo de estudo por parte de académicos e que o mercado de energias renováveis se tornasse objeto de operações de investimentos por parte de entidades públicas e de investidores institucionais. É crescente a literatura que estuda o efeito que as variações no preço do petróleo, até então uma poderosa fonte de geração de energia, têm no mercado das energias renováveis, nomeadamente no preço das ações de empresas que atuam neste sector. Apesar dos múltiplos estudos, não há na literatura um consenso sobre a direção deste efeito e quais os fatores que ajudam a explicar estas relações.

Este estudo tem dois objetivos principais. Primeiro, procura mostrar as principais evidências e conclusões sugeridas na literatura recente sobre as relações entre o preço do petróleo e os mercados de energias renováveis. Segundo, busca realizar uma análise empírica sobre as interações entre o preço do petróleo e o preço das ações de empresas que operam nos sectores das energias solar e eólica, nos últimos 10 anos, identificando os principais fatores que ajudam a explicar este fenómeno.

Utilizando o modelo de avaliação de ativos de Fama-French (1992) de 3 fatores de risco e o modelo de Vetores Autoregressivos (VAR), os resultados sugerem que, ao longo da última década, as variações do preço do petróleo não se mostraram estatisticamente significativas na explicação do preço das empresas do sector de energias renováveis. Os resultados do modelo de Fama-French de 3 fatores de risco, acrescido do fator de variação de preços do petróleo, sugerem que variações nos preços do petróleo exercem efeitos contemporâneos positivos e significativos apenas nas empresas de energia eólica; que variações positivas do petróleo no período anterior exercem efeitos positivos e significativos nos preços correntes das empresas de energia eólica e nas tecnológicas e que variações positivas no petróleo exercem efeitos significativos e positivos apenas nas empresas eólicas; porém, variações negativas no petróleo não tendem a exercer efeitos estatisticamente significativos nas empresas dos três sectores.

Os resultados do VAR sugerem que as variações do preço do petróleo aparentam estar mais fortemente relacionadas e a ter maior conteúdo informacional e capacidade preditiva da evolução do preço das empresas do sector tecnológico. Os resultados sugerem ainda que as

conclusões sobre os efeitos causados pela volatilidade dos preços do petróleo dependem das premissas adotadas ao decorrer do estudo, como seja a frequência das séries temporais analisadas, a localização geográfica dos mercados, a agregação de índices e o período histórico em que as observações são feitas.

Palavras-chave

Preços do petróleo; mercados acionistas; mercados de energias renováveis; vetores autoregressivos; índices financeiros; modelo de Fama-French de 3 fatores de risco.

Abstract

During the recent years, the increasing demand for energy combined with technological development, the emerging technologies oriented towards renewables production and storage, the concerns about the effects of climate change and the implementation of stricter environmental policies, has made the relationship between the fossil energy market and the renewable energy market the target of studies and brought the renewable energy market as object of investments made by public entities and institutional investors. There is a growing literature regarding the effect that oil prices variations have on the renewable energies stock market. Despite the diverse literature and all the previous findings, there is no consensus among them about the direction of this effect and what factors help to explain these relationships.

This work has two main goals. First, it seeks to show the main evidence and conclusions suggested in recent literature regarding the relationship between oil prices and renewable stock markets. Second, it seeks to carry out an empirical analysis of the interactions between the oil prices and the share price of companies operating in the solar and wind energy sectors, over the last 10 years, identifying the main factors that help explain this phenomenon.

Using the Fama-French (1992) asset valuation model of 3 factors and the Vector Autoregressive (VAR) model, the results suggest that, over the last decade, oil price variations have not been shown to be statistically significant in explaining the renewable stock prices. The results of the Fama-French 3 factor model, plus the oil price variation factor, suggest that variations in oil prices exert positive and significant contemporary effects only on wind energy companies; that positive changes in oil in the previous period have positive and significant effects on current prices of wind energy and technology companies and that positive changes in oil have significant and positive effects only on wind companies; however, negative variations in oil do not tend to exert statistically significant effects on companies in these three sectors.

The VAR results suggest that oil price variations appear to be more strongly related and to have greater informational content and predictive capacity of the evolution of the price of companies in the technology sector. The results also suggest that the conclusions about the effects caused by the volatility of oil prices depend on the assumptions adopted during the study, such as the frequency of the analyzed time series, the geographic location of the markets, the aggregation of indices and the historical period in that observations are made.

Keywords

Oil prices; stock markets; renewable energies market; autoregressive models; stock market indexes; Fama–French three-factor model.

Índice

| | |
|---|-------------|
| Lista de Figuras | xv |
| Lista de Tabelas | xvii |
| Lista de Acrónimos | xix |
| 1. Introdução | 22 |
| 1.1. Enquadramento | 22 |
| 1.2. Objetivos do Estudo | 25 |
| 2. Revisão de Literatura | 27 |
| 2.1. Abordagens teóricas das inter-relações entre o mercado petrolífero, mercados acionistas e sectores de energias renováveis | 27 |
| 2.2. Evidência empírica..... | 31 |
| 3. Dados e Metodologia..... | 35 |
| 3.1. Dados..... | 35 |
| 3.2. Modelo de Fama-French de 3 fatores | 38 |
| 3.2. Vetores Autoregressivos (VAR) | 41 |
| 4. Apresentação e Análise de Dados..... | 46 |
| 4.1. Caracterização da Amostra e Estatística Descritiva..... | 46 |
| 4.2. Resultados do modelo Fama-French de 3 fatores | 49 |
| 4.3. Resultados do Modelo VAR | 54 |
| 4.3.1. Testes de Estacionariedade: Dickey-Fuller Aumentado, Phillips-Perron e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin | 54 |
| 4.3.2. Escolha do número de defasamentos..... | 57 |
| 4.3.3. Teste de Causalidade à Granger..... | 61 |
| 4.3.4. Análise da Função de Resposta ao Impulso (FRI)..... | 63 |
| 4.3.5. Decomposição da Variância..... | 65 |
| 5. Conclusões | 68 |
| 5.1. Discussão dos Resultados e Limitações..... | 68 |
| 5.2. Sugestões de Trabalhos Futuros | 70 |
| Referências | 71 |

| | |
|--|-----------|
| Anexo I – Modelo Fama-French 3 Fatores | 77 |
| Anexo II – Estimativas do Modelo VAR..... | 80 |
| Anexo III – Tabela de Distribuição t-Student..... | 82 |
| Anexo IV – Funções de Resposta ao Impulso (Decomposição de Cholesky) | 83 |
| Anexo V – Tabela de Decomposição da Variância (12 semanas)..... | 85 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Canais de transmissão de mudanças positivas no preço do petróleo. | 27 |
| Figura 2. Séries históricas Oil, Solar, Tech e Wind entre janeiro de 2010 e junho de 2021. | 47 |
| Figura 3. Gráficos em simultâneo das séries LNOIL, LNSOLAR, LNWIND e LNTECH, em escala logarítmica. | 48 |
| Figura 4. Raízes do Polinómio Característico do VAR. | 59 |
| Figura 5. Funções de resposta ao impulso (FRI) com o método de decomposição de Impulsos Generalizados (à esq.) e de decomposição de Cholesky (à dir.), segundo a ordem de ortogonalização [OIL, SOLAR, WIND, TECH, RATE]. | 65 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Estatísticas descritivas das observações semanais dos retornos continuamente compostos das séries. | 49 |
| Tabela 2. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito contemporâneo. | 50 |
| Tabela 3. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito desfasado..... | 52 |
| Tabela 4. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito assimétrico. | 53 |
| Tabela 5. Testes de Raízes Unitárias (DF-A, PP e KPSS) para as series temporais..... | 56 |
| Tabela 6. Critérios de seleção do número de defasamentos (LR, FPE, AIC, SC e HQ)..... | 57 |
| Tabela 7. Tabela de autocorrelação para os dados semanais | 58 |
| Tabela 8. Estatísticas de Adequação do Modelo VAR..... | 59 |
| Tabela 9. Resultados significativos (valores de t-student) nas equações do modelo VAR com 569 observações..... | 60 |
| Tabela 10. Relações de Causalidade à Granger para as séries LNOIL, LNSOLAR, LNWIND, LNTECH e LNRATE. | 62 |
| Tabela 11. Variáveis explicativas e dependentes do modelo VAR. | 63 |
| Tabela 12. Decomposição das variâncias (%) para as séries LNSOLAR, LNWIND, LNTECH, LNRATE e LNOIL..... | 66 |

Lista de Acrónimos

| | |
|-----------------|--|
| ADRs | <i>American Depositary Receipts</i> |
| AIC | <i>Akaike Information Criterion</i> |
| AMEX | <i>American Stock Exchange</i> |
| ARCA | <i>Archipelago Exchange</i> |
| CAPM | <i>Capital Asset Pricing Model</i> |
| CELS | <i>NASDAQ Clean Edge Green Energy Index</i> |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono, ou Gás Carbônico |
| CoVaR | <i>Conditional Value at Risk</i> |
| DF-A | Teste de Dickey–Fuller Aumentado |
| ETF | <i>Exchange Traded Fund</i> |
| FAN | <i>First Trust Global Wind Energy ETF Index</i> |
| FRI | Funções de Resposta ao Impulso |
| GARCH | <i>Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity</i> |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GWE | <i>ISE Clean Edge Global Wind Energy Index</i> |
| HML | <i>High Minus Low</i> |
| HQ | <i>Hannan–Quinn Information Criterion</i> |
| IEA | <i>International Energy Agency</i> |
| IRENA | <i>International Renewable Energy Agency</i> |
| KPSS | Teste de Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin |
| LM | <i>Lagrange Multiplier Test</i> |
| NASDAQ | <i>National Association of Securities Dealers Automated Quotations</i> |
| NWBW | Newey-West Bandwidth |
| NYMEX | <i>New York Mercantile Exchange</i> |
| NYSE Arca | New York Stock Exchange |
| OCDE | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| OPEP | Organização dos Países Produtores de Petróleo |
| PNEC | Plano Nacional Energia e Clima |
| PP | Teste de Phillips - Perron |
| R _m | Risco de Mercado |
| SC | <i>Schwarz Information Criterion</i> |
| SMB | <i>Small Minus Big</i> |
| SUNIDX | <i>MAC Global Solar Energy Stock Index</i> |
| TAN | <i>Invesco Solar ETF Index</i> |

| | |
|------|--------------------------------------|
| UBI | Universidade da Beira Interior |
| VAR | Vetores Autoregressivos |
| VaR | <i>Value at Risk</i> |
| VECM | <i>Vector Error Correction Model</i> |
| WTI | <i>West Texas Intermediate</i> |

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A comercialização do petróleo bruto tem um importante papel na economia moderna e está fortemente associado com o desempenho dos mercados financeiros, já que este bem físico é um dos mais transacionados, em valor e volume, nos mercados regulados de *commodities*¹. Além de ser a principal *commodity* de energia no mercado, devido à facilidade de transporte e à alta densidade energética², o petróleo é também um importante ativo financeiro desde o início dos anos 2000, sendo utilizado como um parâmetro de desempenho do mercado (Grøm, 2013; Ghenai *et al.*, 2020).

Após a crise financeira de 2008, o petróleo passou a apresentar um comportamento mais volátil e uma elevada interconexão com o desempenho das bolsas de valores (Dominioni *et al.*, 2019; Ferrer *et al.*, 2018), com uma tendência de maior ligação com os mercados financeiros durante períodos de instabilidade económica e crises financeiras associadas (Sadorsky, 2012; Reboredo, 2015). O aumento do preço do petróleo e a expectativa de que a procura de alguns produtos derivados atinja o pico ente 2030-2040 (OPEP, 2020) funcionam como estímulos para o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem a produção e o armazenamento eficiente de energia de fontes renováveis e se constituam como alternativas à procura tradicional de energia proveniente de combustíveis fósseis (Henriques & Sadorsky, 2008).

A crescente globalização da economia nas últimas três décadas, associada a elevados graus de produtividade industrial, desenvolvimento tecnológico e rápido crescimento da economia mundial, originou um aumento significativo na procura por energia, impulsionado maioritariamente pela China e países em desenvolvimento (IEA, 2020). Juntamente com o aumento no consumo da energia proveniente de combustíveis fósseis, aumentaram também os efeitos adversos no meio ambiente, decorrente da grande quantidade de emissão de gases de efeito estufa (GEE) e do esgotamento das reservas, já que as fontes destes combustíveis não são renováveis (Leung *et al.*, 2014).

¹ *Commodities* são produtos indiferenciados, de qualidade e características uniformes, e com seu preço uniformemente determinado pela oferta e procura internacional.

² A alta densidade energética representa a capacidade de geração de uma grande quantidade de energia em uma planta compacta, com a utilização de uma pequena área de terra.

Uma grande parcela das emissões de dióxido de carbono (CO₂) é proveniente do sector de energia. O carvão ainda é a segunda principal fonte primária de energia, mas vem perdendo espaço devido ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para produção energética e à substituição de instalações de energia térmica nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) (OPEP 2020), o que motivou empresas, reguladores e governos a orientarem as suas operações para a utilização eficiente da energia proveniente de fontes renováveis (Henriques & Sadorsky, 2008) e ajudou a estimular investimentos em investigação e desenvolvimento neste âmbito, uma vez que as energias renováveis aparentam ser uma alternativa eficaz na descarbonização das economias globais (Bourcet, 2020). Estes desenvolvimentos já são observados nos países desenvolvidos, que passam atualmente por um processo de desinvestimento na utilização dos combustíveis fósseis mais poluentes (carvão e petróleo) e investimento no gás natural e nas energias renováveis (IEA, 2017), tendo como exemplo prático a criação do Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030), que tem como objetivo promover a transição energética nos países da União Europeia.

Assim, as fontes de energia disponíveis no mercado transformaram-se em objetos de pesquisa, sob vários aspetos, pois este sector tem um papel importante no crescimento económico, dado que uma variação no consumo da energia gera uma variação, na mesma direção, no crescimento da economia e tem uma ligação direta com o desenvolvimento de qualquer sociedade, causando um impacto real na qualidade de vida das pessoas (Wang *et al.*, 2009; Dogan, 2016; Ghenai *et al.*, 2020).

Este aumento na procura por energia, que a *Energy Information Administration* (EIA) dos Estados Unidos estima que seja de 30% entre 2017 e 2040 (EIA, 2017), as preocupações com as questões ambientais, o desenvolvimento tecnológico e a sustentabilidade económica e financeira das empresas inseridas no sector das energias renováveis, em conjunto com maiores exigências públicas e governamentais e aumento nos preços dos combustíveis fósseis, motivaram um rápido crescimento das empresas ligadas à exploração de energias limpas (Inchauspe *et al.*, 2015; Ferrer *et al.*, 2018; Kyritsis & Serletis, 2019). A combinação destes fatores com questões envolvendo a segurança energética dos países desenvolvidos, não detentores de reservas de combustíveis fósseis, podem estar relacionados com os movimentos no mercado do petróleo. Apesar do aumento do preço do petróleo poder ser considerado bom para os sectores ligados à produção e armazenamento de energias renováveis, este campo de análise tem sido pouco explorado em estudos que procuram explicar a sensibilidade do desempenho financeiro de empresas de energias renováveis perante alterações no mercado e no preço do petróleo (Henriques & Sadorsky, 2008).

Em 2018, 26% da energia consumida mundialmente era proveniente de fontes renováveis e a projeção de crescimento da capacidade instalada destas fontes, capazes de suprir cerca de 80% da procura global nos próximos 10 anos, é de 50% entre 2019 e 2024, com a energia solar assumindo a posição principal em termos de crescimento potencial (700GW), seguida pela energia eólica (350GW), que é a que oferece maior potencial de mitigação de carbono por MW produzido dentre todas as tecnologias de energia renovável (EIA, 2019). Segundo projeções da OPEP (2020), a combinação destas duas fontes renováveis deve crescer cerca de 7% ao ano, mais rápido do que o crescimento de quaisquer outras fontes de energia.

As fontes renováveis são vistas como possíveis substitutas dos combustíveis fósseis, o que instiga académicos e investidores a criar teorias e hipóteses que procuram prever comportamentos futuros de mercado, uma vez que as energias limpas passam a ser mais competitivas devido ao aumento na procura por produtos ambientalmente sustentáveis, aos aumentos nos investimentos no sector e às grandes quedas nos custos de instalação e produção nos últimos anos. Os estudos neste tema começaram a ganhar importância no meio académico na última década e alguns têm-se focado na análise das interações entre as séries temporais de fontes de energias renováveis e não-renováveis, se o sentido dessa interação é simétrico ou assimétrico e, em particular, no efeito exercido pelas variações dos preços do petróleo no desempenho financeiro das empresas de energias renováveis (Shah *et al.*, 2018; Lee & Baek, 2018). A separação dos mercados de energias renováveis dos mercados tradicionais de energia fóssil reforça a ideia de que a procura de energia renovável está desenvolvendo este sector de forma independente dos combustíveis fósseis, e que esta ideia ajudou a aumentar o interesse neste campo de investigação, apesar deste ser ainda bastante limitado (Ferrer *et al.*, 2018).

Estes estudos fornecem resultados empíricos que servem de base à elaboração de políticas e definição e aprovação de subsídios para o sector de energias limpas. Os formuladores de políticas públicas precisam de entender como as variações no preço do petróleo impactam a indústria de energia renovável, uma vez que os gastos públicos destinados ao processo de descarbonização da economia podem ser reduzidos quando a dinâmica do preço do petróleo fornece o cenário ideal para incentivos ao investimento na indústria de energia renovável (Reboredo, 2015). Estes estudos também podem ter aplicação nos processos de tomada de decisões realizados pelos investidores que querem ter ativos renováveis nos seus portfólios, ou seja, é de grande utilidade para investidores que precisam de saber se, e em que condições, um investimento é mais ou menos atrativo quando o preço do petróleo sofre variações, principalmente no que diz respeito aos potenciais ganhos e perdas em cenários de variação extrema no preço do petróleo (Cheon & Urpelainen, 2012; Sadorsky, 2012;

Reboredo, 2015; Ferrer *et al.*, 2018; Baruník & Křehlík, 2018; Bourcet, 2020). São também fundamentais para permitir a continuidade do interesse em investimentos de capital privado, que é o principal agente responsável pelo aumento da participação das fontes renováveis no sector de energia³, uma vez que a iniciativa e as políticas públicas devem funcionar como facilitadoras dos investimentos privados (Kyritsis & Serletis, 2019; Dominioni *et al.*, 2019).

A *International Energy Agency* (IEA) refere que a pandemia COVID-19 causou um marco disruptivo no sector energético maior do que qualquer outro evento da história recente e contribuiu para mudanças significativas nas perspetivas relacionadas à transição energética e na certeza da importância de políticas bem elaboradas para manutenção de um sistema energético fiável e resiliente e que possa atender às metas climáticas. Até 2020, as principais empresas de petróleo e gás reduziram o valor reportado dos seus ativos em mais de US\$50 bilhões, o que pode ser um reflexo da mudança nas perceções sobre o futuro e resultar em novos ciclos de preço e maiores riscos para a segurança energética (IEA, 2020).

1.2. Objetivos do Estudo

Considerando todas as informações expostas na secção 1.1, este trabalho encontra pertinência na necessidade de estudos que ajudem a explicar os movimentos e desempenho do mercado de energias limpas face às fontes tradicionais de energia e na atualização de abordagens utilizadas no passado, de forma a verificar se as conclusões obtidas anteriormente por investigadores nesta temática podem ser replicadas para a conjuntura atual do mercado de energia. Assim, esta dissertação tem como objetivo analisar as relações entre variações do preço do petróleo e o comportamento dos preços das empresas de energias renováveis e empresas tecnológicas, utilizando o modelo de avaliação de activos de 3 fatores de risco de Fama-French e o modelo de Vetores Autoregressivos (VAR) utilizando os índices acionistas dos correspondentes mercados.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a secção 2 apresenta uma revisão de literatura sobre a temática dos efeitos e das inter-relações entre o preço do petróleo, os mercados acionistas, em geral, e os preços das ações de empresas dos sectores de energias renováveis e de empresas de tecnologia, em particular. São revistas e apresentadas as

³ O investimento inicial necessário para a produção de qualquer tipo de energia limpa é, geralmente, superior ao necessário para emitir energia poluente, mas, após o investimento inicial, a energia produzida a partir de qualquer fonte renovável é mais barata que a convencional, uma vez que não há custos de combustível ou de emissões de CO₂, o que contribui para o aumento do interesse de investidores.

abordagens teóricas que suportam os modelos empíricos, frequentemente utilizados nesta área, e apresentados os principais resultados obtidos das análises empíricas nesta área. Na secção 3, procede-se à apresentação das séries de dados e aos vários métodos econométricos utilizados no estudo, através do detalhamento da metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho. Na secção 4 são apresentados os dados utilizados e procede-se à análise dos resultados obtidos. É feita a caracterização das amostras observadas e apresentados os passos realizados na elaboração e análise do modelo VAR, incluindo a realização dos testes de estacionariedade das séries e análise das funções de resposta ao impulso (FRI). Na secção 5 procede-se à discussão dos resultados e suas implicações e uma breve discussão da relevância deste tipo de estudo no âmbito das energias renováveis, sumarizam-se os principais resultados e conclusões, identificam-se algumas limitações do trabalho e apontam-se possíveis oportunidades de trabalhos futuros no tema.

2. Revisão de Literatura

2.1. Abordagens teóricas das inter-relações entre o mercado petrolífero, mercados acionistas e sectores de energias renováveis

Nos últimos anos, principalmente após a crise financeira de 2008, a flutuação nos preços do petróleo tem atraído a atenção da comunidade acadêmica, pela correspondência entre a volatilidade do preço do petróleo e os movimentos nos mercados acionistas. Este interesse passou a ser relevante a partir do desenvolvimento dos ativos financeiros baseados em *commodities*, o que levou a um aumento significativo do volume de transação de futuros do petróleo no início dos anos 2000 até à crise financeira global no final da década.

Degiannakis *et al.* (2018) refere que o aumento nos preços do petróleo causam aumento na incerteza da economia, devido aos efeitos que apresenta na inflação, no nível de produção e nos padrões de consumo, e que esse aumento reduz a procura por investimentos irreversíveis (o que reduz os fluxos de caixa esperados das empresas que atuam no sector) e o consumo de bens duráveis (uma vez que a incerteza económica aumenta o incentivo a poupar em vez de consumir). A figura 1 ajuda exemplificar os impactos que o aumento no preço do petróleo tende a causar nos mercados acionistas.

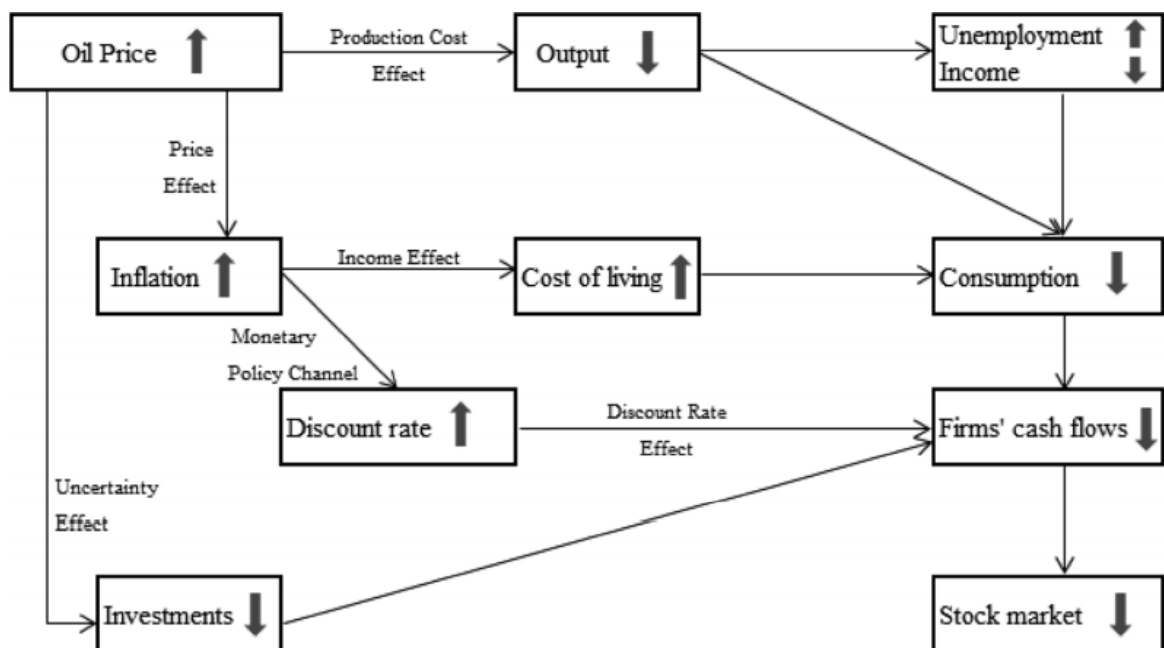


Figura 1. Canais de transmissão de mudanças positivas no preço do petróleo.

Fonte: Degiannakis et al. (2018)

Segundo Degiannakis *et al.* (2018), o aumento da literatura disponível neste campo de investigação tende a sugerir que os usos de índices agregados de mercado podem mascarar respostas heterogêneas de diferentes sectores industriais em relação às variações nos preços do petróleo, devido às características específicas de cada um destes, que variam de acordo com a classificação do sector industrial como consumidor, substituto ou não relacionado ao petróleo. Elyasiani *et al.* (2011) mostram que variações positivas no petróleo exercem um efeito positivo nos sectores relacionados ou que atuam como substituição ao produto, como, por exemplo, a produção de energia a partir de outros combustíveis fósseis, enquanto o efeito é negativo e indireto para os sectores consumidores do petróleo, como a indústria química, construção civil e transportes.

Apesar do aumento no interesse por esta temática, nem todos os estudos nesta área da literatura apresentam um consenso sobre os eventos determinantes e os efeitos da variação do preço do petróleo na economia, nos mercados acionistas e, em particular, no sector das energias renováveis. Alguns investigadores, como Arouri & Rault (2012), Wang *et al.* (2013) e Shah *et al.* (2018), afirmam que, na análise, é necessário separar os países entre aqueles que são tipicamente exportadores de petróleo e aqueles que operam como importadores do produto, e que esta distinção é fundamental para a obtenção de resultados mais consistentes. Segundo Park & Ratti (2008), variações significativas no preço do petróleo têm um efeito positivo no mercado acionista dos países exportadores e um efeito negativo nos países importadores de petróleo. Um aumento nos preços do petróleo, desacelera a economia de um país importador, causando uma redução no rendimento e no consumo que, por sua vez, reduz o nível de produção e gera respostas negativas nos mercados acionistas. De forma oposta, apesar dos possíveis efeitos negativos sofridos por um país exportador em seus custos de produção, o aumento nos preços do petróleo gera um aumento nas exportações, que geram maior produção e, conseqüentemente, maiores receitas provenientes da produção de petróleo (Degiannakis *et al.*, 2018). Apesar destas evidências empíricas, ainda são poucos os estudos que fazem este tipo de separação.

Também são identificadas na literatura a utilização de diferentes tipos de dados e métodos econométricos que podem auxiliar no entendimento do cenário estudado, como a aplicação do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) de Sharpe (1964), ou o modelo de três fatores de Fama & French (1992). O uso de dados reais e nominais do petróleo e do mercado de ações também variam entre os diferentes autores, inclusive os que examinam os efeitos assimétricos das variações nos preços do petróleo ou os efeitos dos preços do petróleo nas economias exportadoras e importadoras de petróleo (Degiannakis *et al.*, 2018).

Entre os fatores que afetam o preço do petróleo bruto estão as curvas da oferta e da procura de acordo com os tipos de petróleo, que podem ser divididos entre os mais leves (mais fáceis de refinar e com tendência a evidenciarem preços mais baixos) e os mais pesados (que exigem um processo de refino mais custoso para serem transformados em combustível). Há dois tipos principais de petróleo bruto utilizados como referência no mercado, ambos considerados leves: o WTI (*West Texas Intermediate*), produzido na principal região petrolífera dos Estados Unidos e negociado na *New York Mercantile Exchange*, e o Brent, produzido no Mar do Norte e negociado na *London Intercontinental Exchange*. Ambos são frequentemente utilizados na literatura como índices de medida de preço e volatilidade do petróleo (Degiannakis *et al.*, 2018).

Henriques & Sadorsky (2008), Sadorsky (2012), Dominiononi *et al.* (2019) e Ferrer *et al.* (2018) utilizam o índice de contratos de futuros WTI, que é o indicador padrão no mercado americano e representa o preço do petróleo WTI⁴. De acordo com Sadorsky (2001), os preços do petróleo nos mercados à vista são mais influenciados pelas variações no curto prazo, uma vez que o mercado apresenta grande volatilidade frente a acontecimentos externos, o que indica que os preços nos contratos de futuros do petróleo são mais adequados para acompanhamento do preço, sendo estes a referência para o mercado de petróleo utilizada na maior parte dos estudos. A exposição direta dos contratos de futuros ao mercado de petróleo confere uma vantagem na gestão de risco de preço em relação a outras formas de negociação do produto no mercado.

Para Sadorsky (2012), um paradoxo ao comparar o mercado do petróleo com a evolução do preço das ações de empresas de energia renováveis é que o preço do petróleo desempenha um papel central na determinação da rentabilidade das energias renováveis, uma vez que existe a intensa necessidade de combustível durante o processo de construção dos parques de energia, e que variações no preço do petróleo podem incentivar ou inibir o interesse no uso de energias alternativas.

Outro ponto onde são observadas algumas divergências entre os estudos é a forma como as fontes de energias renováveis são consideradas pelos investigadores. Alguns estudos, como os realizados por Ferrer *et al.* (2018), Henriques & Sadorsky (2008) e Sadorsky (2012), avaliam as fontes de energia renováveis como um bloco único, sem distinção entre elas, utilizando como representação o índice ECO (Wilder Hill Clean Energy Index), criado pela

⁴ Qualquer petróleo que atenda às exigências de baixa densidade e baixo teor de enxofre, independente do local de produção, pode ser considerado WTI, que é uma mistura de óleo ideal para conversão em gasolina e óleo diesel.

American Stock Exchange (AMEX), atual NYSE⁵. Este índice é o indicador mais antigo dedicado exclusivamente ao acompanhamento de empresas de energias limpas e mede o desempenho do mercado das ações de 54 empresas relacionadas com o uso de fontes de energia como solar, eólica, hidrogénio e biocombustíveis. Outros investigadores, como Reboredo (2015) e Dominioni *et al.* (2019), afirmam que é necessário analisar as fontes de energias renováveis de forma separada, uma vez que elas apresentam características distintas, tanto em relação aos investimentos necessários e retornos esperados, como variações nas projeções de capacidade instalada de produção.

Dominioni *et al.* (2019) consideram as energias solar e eólica como as principais e mais relevantes atualmente, devido às projeções de crescimento e participação no mercado, utilizando como referência os índices NYSE Bloomberg Global Solar Energy Index, que inclui empresas ativas no sector de energia solar, e NYSE Bloomberg Global Wind Energy Index, que acompanha as empresas que operam no sector de energia eólica. Como referência para o sector tecnológico, é utilizado o índice NYSE Bloomberg Global Energy Smart Technologies Index, que acompanha empresas ativas nos sectores de eficiência e armazenamento energético, energia digital e transporte avançado de energia. Estes 3 índices, geridos pela Bloomberg, foram descontinuados em 2016. Os autores ressaltam ainda a necessidade de avaliação dos efeitos da inclusão da ocorrência de eventos externos que possam causar distúrbios no comportamento padrão do modelo, como, por exemplo, o fornecimento de subsídios federais e o estabelecimento de outras políticas públicas.

O mercado de energia solar foi o que apresentou a maior queda no preço de produção nos últimos anos, quando comparado com as demais. O preço médio global da energia solar sofreu uma redução de cerca de 77% entre 2010 e 2018, com redução nos custos dos módulos fotovoltaicos superior a 90% desde 2009 (IRENA, 2019), de forma que os fornecedores podem ser competitivos no mercado sem necessidade de ajuda financeira externa, o que ajuda a aumentar a competitividade do sector. Além disto, as estimativas são que as energias solar e eólica sejam responsáveis por 70% da capacidade total instalada dentre as renováveis até 2024 (IEA, 2019).

⁵ New York Stock Exchange (NYSE) é a bolsa de valores de Nova Iorque. Foi fundada como New York Curb Exchange em 1842 e renomeada para American Stock Exchange (AMEX) em 1953. Em 2008 a NYSE Euronext anunciou a compra da AMEX, que foi renomeada como NYSE Alternext U.S.

2.2.Evidência empírica

A literatura utiliza diferentes modelos matemáticos para analisar a conexão entre os preços das ações de empresas de energia limpa e o preço do petróleo bruto, além da possibilidade de incluir uma série de variáveis financeiras consideradas relevantes pelos investigadores. Os métodos econométricos e a escolha dos dados dependem da abordagem adotada por cada autor e das hipóteses que serão examinadas, como a influência de outras variáveis macroeconómicas como: índices de produção industrial, taxas de juros e taxas de desemprego (Degiannakis *et al.*, 2018).

Enquanto alguns estudos evidenciam uma fraca interação entre o preço do petróleo e o preço das ações de empresas que atuam no sector das energias renováveis (Kyritsis & Serletis, 2019; Dominioni *et al.*, 2019), outros investigadores, como Reboredo (2015) e Sadorsky (2012), encontraram evidências de que esse impacto seria, de facto, relevante. Sadorsky (2012) evidencia que o sucesso ou o fracasso das empresas de energias renováveis nos mercados acionistas também é dependente do nível de desenvolvimento técnico alcançado pelas empresas de tecnologia. Estas divergências nas conclusões podem ser o resultado da utilização de diferentes métodos de análise, ou mesmo devido à passagem do tempo, visto que os estudos mais antigos sugerem uma forte interação, enquanto os mais recentes apontam para uma maior independência entre as séries temporais analisadas, o que pode ser resultado da grande evolução tecnológica no decorrer da última década.

Henriques & Sadorsky (2008) apresentaram um dos primeiros estudos a abordar esta temática, analisando a dinâmica na interação entre os preços das ações de empresas de energias renováveis, ações de empresas de tecnologia, o preço do petróleo e taxas de juros, utilizando um modelo de vetores autoregressivos com estas 4 variáveis. O estudo também apresentou evidências de causalidade à Granger dos preços do petróleo bruto para os preços das ações de empresas de energia renovável, concluindo que o impacto do preço do petróleo nas ações das empresas de energia renovável é limitado. Porém, os resultados sugerem um efeito de substituição entre os combustíveis fósseis e as energias renováveis.

Na análise desta temática, a maior parte dos estudos utiliza o modelo VAR na análise empírica (Henriques & Sadorsky, 2008; Kumar *et al.*, 2012; Managi & Okimoto, 2013; Wang *et al.*, 2013; Shah *et al.*, 2018; Baruník & Křehlík, 2018). Este modelo possibilita examinar o efeito da incerteza do preço do petróleo no comportamento do preço das ações de empresas relacionadas a fontes de energias renováveis e empresas de tecnologia. O modelo VAR é uma das técnicas de estimação de parâmetros mais utilizadas em

econometria. Uma das principais vantagens apontadas por Henriques & Sadorsky (2008) na utilização deste método é que o investigador não precisa de estabelecer suposições sobre quais variáveis são consideradas dependentes e quais são independentes. Neste método todas as variáveis são consideradas endógenas, o que significa que cada uma depende igualmente das demais variáveis do sistema e não há a necessidade da adoção de premissas neste âmbito, como pode ser exigido em modelos CAPM e multifatoriais (Scholtens & Yurtsever, 2012). Apesar desta vantagem, Kilian & Vigfusson (2009) apontam que os modelos VAR podem não ser capazes de gerar estimativas consistentes em relação aos reais efeitos de aumentos imprevistos nos preços de energia.

Inchauspe *et al.* (2015) realizaram um estudo baseado nas evidências obtidas por Henriques & Sadorsky (2008) e utilizaram uma configuração multifatorial dinâmica baseada num modelo com coeficientes variáveis no tempo. Concluíram que aumentos bruscos no preço do petróleo têm pouca influência sobre os investimentos em energias renováveis, mas que o índice utilizado, o Wilderhill New Energy, parecia ser bastante influenciado pelo preço de ações de empresas de tecnologia, como aquelas listadas no índice Standard & Poor's 500.

O modelo VAR foi também utilizado por Schmitz (2009), Sadorsky (2012) e Kyritsis & Serletis (2019), mas com adaptações para acomodar o modelo multivariado GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), que é o segundo mais utilizado em estudos do tema (Degiannakis *et al.* (2018) e permite, para além de modelar o primeiro momento da variável dependente, modelar também a variabilidade da volatilidade da variável dependente do modelo⁶, sendo considerado útil no estudo de efeitos *spillover* da volatilidade nos mercados acionistas (Grøm, 2013).

Estes estudos mostraram que utilizando modelos de mercado de vários fatores atrelado ao GARCH para investigar a relação entre os preços do petróleo e os índices de energia renováveis, os resultados sugerem que aumentos nos preços do petróleo têm um impacto estatisticamente significativo e positivo sobre os retornos das ações de energia renováveis e que essa relação varia com o tempo e o investigador deve considerar, além deste aspeto, o fato das estimativas serem sensíveis à estrutura do modelo escolhido, ou seja, um modelo muito simplista pode não captar as dinâmicas de forma apropriada e um modelo mais complexo exigiria um número muito elevado de coeficientes, dificultando a estimação (Engle & Kroner, 1995; Engle, 2002; Broadstock *et al.*, 2012; Degiannakis *et al.*, 2018).

⁶ Neste modelo a variabilidade do risco da variável dependente (i.e., rendimento da ação) é modelada como uma função não linear e autoregressiva da componente da variância estimada nos períodos anteriores e do quadrado da perturbação da variável dependente estimada no período anterior.

Inchauspe *et al.* (2015) afirma que é importante que o modelo adote coeficientes que ajudem a acompanhar a variação dos parâmetros no tempo e evidencia em seu estudo que a tecnologia exerce uma forte influência no mercado de energias renováveis.

Lee & Baek (2018), no seu processo de modelização, consideraram os efeitos assimétricos das variações do preço do petróleo através de um modelo autoregressivo de defasagem distribuída (ARDL) e concluíram que variações nos preços do petróleo têm um efeito significativo e positivo de curto prazo sobre os preços das ações de energia renováveis, mas que, no entanto, este efeito não tende a permanecer por maiores períodos de tempo.

Kumar *et al.* (2012) basearam o seu estudo na hipótese de que o aumento no preço de fontes convencionais de energia ou nas licenças de carbono incentivariam investimentos em empresas de energia limpa, utilizando informações sobre as licenças de carbono comercializadas no Sistema Europeu de Comércio de Emissões e concluíram que os preços das ações de empresas de energias limpas são afetados pelos preços do petróleo, pelas taxas de juros e pelos preços das ações de empresas de tecnologia, mas que os preços do carbono não têm impacto significativo nos preços das ações de energias renováveis. Os resultados encontrados por Managi & Okimoto (2013), Ahmad (2017) e Bondia *et al.* (2016) mostram que variações nos preços das ações de empresas de tecnologia têm um forte impacto nos preços das ações de energia renováveis em termos de volatilidade, consistente com os resultados de Sadorsky (2012), que sugere que os investidores percebem as empresas ligadas às energias renováveis como semelhantes às empresas de alta tecnologia. Schmitz (2009) destaca uma maior influência do petróleo na energia solar, que se traduz no dobro de sensibilidade em relação às demais fontes.

Reboredo (2015) adota uma abordagem semelhante em relação à atualização temporal dos coeficientes no estudo do risco sistémico e conclui que as variações no preço do petróleo contribuem para explicar cerca de 30% na medida de risco condicional (CoVaR – *Conditional Value at Risk*) das empresas de energias renováveis e que a extensão deste risco sistémico é similar entre diferentes índices, exceto o índice SOLAR, que é influenciado assimetricamente por variações extremas no mercado do petróleo. Esta medida capta riscos de propagação dos preços do petróleo medidos como o valor em risco (VaR – *Value at Risk*) de um investimento em ações de energia renovável. Ainda segundo Reboredo (2015), os estudos encontrados na literatura usam diferentes abordagens econométricas e fornecem evidências da dependência entre os preços do petróleo e os preços das ações de empresas de energias renováveis, mas são poucos os que atentam ao possível impacto sistémico das

mudanças nos preços do petróleo sobre as ações de energia renovável e como os co-movimentos entre os vários preços e outras variáveis se desenrolam.

Este trabalho procura contribuir para o corpo de literatura existente nesta área, identificando, através de uma análise empírica, o padrão de relações e de co-movimentos entre as séries do preço do petróleo, dos preços de ações de empresas dos sectores de energias renováveis, de ações das empresas de tecnologia e da taxa de juro. No desenvolvimento deste estudo, optou-se pela utilização do modelo VAR, uma vez que é o mais difundido na literatura, de forma a permitir a comparação dos resultados deste trabalho com os obtidos por outros investigadores que adotaram esta metodologia, possibilitando inferir os principais motivos que concorrem para as diferenças nas evidências empíricas dos estudos disponíveis na literatura.

3. Dados e Metodologia

3.1. Dados

Neste capítulo são apresentados os principais aspetos relativos à metodologia utilizada na realização do presente estudo, que tem como principal objetivo responder às duas seguintes questões de investigação:

- 1. Que impacto as variações do preço do petróleo exercem no preço das ações de empresas que operam nos sectores de energias renováveis?**
- 2. Qual a estrutura de co-movimentos existente entre as variações do preço do petróleo, do preço de ações de empresas de energia renováveis, do preço de ações de empresas de tecnologias e da taxa de juro?**

Neste trabalho, as fontes de energia renovável foram consideradas separadamente, ao invés de agregadas num bloco único, conforme a metodologia utilizada por Reboredo (2015) e Dominioni *et al.* (2019), com o objetivo de observar diferenças no comportamento das duas fontes mais significativas do mercado atual, a energia eólica e a energia solar. Os dados utilizados na análise empírica foram os constantes das séries temporais de 4 diferentes índices⁷ financeiros, que estão descritos a seguir. As fontes utilizadas para obtenção destes dados foram os *sites* da Bloomberg (www.bloomberg.com/europe) e do portal financeiro Investopedia (www.investopedia.com), que publicam informações financeiras de diferentes mercados globais.

i. Energia Solar: MAC Global Solar Energy Stock Index (SUNIDX)

Este índice representa ações de 48 empresas de energia solar admitidas à negociação em bolsas de valores de países desenvolvidos e é ponderado pela capitalização de mercado destas empresas. É um índice diversificado sem limitação geográfica⁸ que inclui diferentes tipos de tecnologias solares, toda a cadeia de valor (fabricantes de peças para equipamentos de energia solar, instalação ou infraestrutura de fornecimento de energia solar e comercialização de energia solar para outras empresas de energia e para o consumidor final)

⁷ Um índice é uma medida de uma secção de um mercado financeiro, calculada a partir dos preços de transação de um conjunto de determinados ativos.

⁸ Distribuição geográfica do índice de acordo com a sede da empresa em maio/2021: Ásia – 46%, Europa – 29%, América do Norte – 25%.

e equipamentos relacionados à geração e distribuição de energia solar. O índice é calculado pela *S&P Dow Jones Índices*, com revisão trimestral e requisitos mínimos de liquidez de negociação no mercado acionista que as empresas têm que apresentar para serem incluídas no índice, nomeadamente, terem pelo menos USD 150 milhões de valor de mercado/capitalização bolsista e evidenciarem USD 750.000 no valor médio diário negociado no mês anterior à inclusão no índice (MAC Solar Index, s.d.).

Os investidores não podem investir diretamente no índice, mas podem realizar operações de compra e venda de títulos representativos destas ações através de um *Exchange Traded Fund* (ETF) negociado em bolsa que tende a replicar integralmente o respetivo índice. O *MAC Global Solar Energy Stock Index* é o índice replicado pelo fundo de investimento *Invesco Solar ETF*, que foi iniciado em 2008 pela *Invesco Ltd* e é negociado na *New York Stock Exchange ARCA* com o símbolo TAN (NYSE ARCA: TAN) e atualmente conta com um valor de mercado de USD 2.9 mil milhões (Invesco, 2021; Bloomberg, s.d.(a)).

ii. Energia Eólica: ISE Clean Edge Global Wind Energy Index (GWE)

O Índice Global de Energia Eólica *ISE Clean Edge* (GWE), lançado em 16 de dezembro de 2005 e calculado pela NASDAQ ISE Indexes, oferece uma estratégia de acompanhamento do crescimento da indústria, acompanhando atualmente 51 empresas globais de capital aberto envolvidas na indústria da energia eólica, incluindo empresas com um foco exclusivo no sector de energia eólica (com limite de participação de 8% para essas empresas, que representam cerca de 60% do índice) e multinacionais diversificadas com exposição ao sector (com limite de participação de 2%). Este índice é ponderado de acordo com a capitalização de mercado ajustada de cada empresa, que deve ser de, no mínimo, USD 100 milhões (Clean Edge, s.d.). Apesar de não ser o índice com a exposição mais ampla ao sector, o Índice Global de Energia Eólica *ISE Clean Edge* é o único que rastreia especificamente o comportamento do preço de ações de empresas especializadas em energia eólica (Nasdaq Investment Intelligence, 2021).

Assim como no caso anterior, os investidores não podem investir diretamente neste índice, mas podem comprar ou vender títulos representativos do ETF negociado em bolsa que acompanha este índice. O *ISE Clean Edge Global Wind Energy Index* é o índice de acompanhamento do *First Trust ISE Global Wind Energy Index Fund*, iniciado em 2008 pela *First Trust Portfolios* e que procura resultados de investimento que correspondam geralmente ao preço e rendimento (antes das taxas e despesas do Fundo) do GWE. O fundo tem uma distribuição geográfica mais alargada que o TAN (15,30% das empresas estão localizadas na Dinamarca, 14,94% no Canadá, 14,13% no Estados Unidos e 13,31% na

Espanha). 28,67% do total é relativo a empresas que desenvolvem operações na produção de equipamentos, 10,38% provém de empresas produtoras de energia eólica e as *utilities* representam 56% da exposição sectorial. Este fundo é negociado na *New York Stock Exchange ARCA* com o símbolo FAN (NYSE ARCA: FAN) e atualmente conta com um total de USD 403 milhões de ativos sob gestão, sendo rebalanceado a cada 6 meses (First Trust, s.d.; Bloomberg, s.d.(b)).

iii. Petróleo: West Texas Intermediate (WTI)

Este índice refere-se a contratos de futuros do petróleo bruto WTI (*West Texas Intermediate*) negociados na NYMEX (*New York Mercantile Exchange*), que é o maior mercado mundial de negociações de contratos futuros de *commodities*. Este índice é amplamente utilizado como *proxy* ou *benchmarking*⁹ em mercados financeiros por *traders*¹⁰ e investidores institucionais, por ser o contrato de petróleo bruto mais negociado do mundo. O NYMEX WTI negocia quase 1,2 milhões de contratos por dia, com cada contrato a representar 1.000 barris de petróleo (CME, 2017).

iv. Empresas de Tecnologia: NYSE Arca Tech 100 Index (PSE)

Com o avanço tecnológico das últimas duas décadas, passou a ser interessante investigar também a relação entre empresas de energia renovável e empresas que atuam no sector tecnológico, já que o desenvolvimento da tecnologia pode proporcionar ganhos significativos nos processos de produção e distribuição de energia e que diversos estudos, alguns já referidos neste trabalho, apontam para uma forte relação entre o sector tecnológico e o mercado de energias renováveis.

Seguindo o estudo de Henriques & Sadorsky (2008), o índice PSE foi escolhido por ser um dos mais antigos e relevantes na literatura e ter a presença do indicador ARCA, que significa que todas as empresas integrantes do índice têm uma atuação puramente tecnológica. O índice foi iniciado em 1982 pela *Pacific Exchange* e é ponderado pelos preços das ações que integram o índice, sendo este composto por ações ordinárias e ADRs¹¹ de empresas de tecnologia, de diferentes sectores, admitidas à negociação na NYSE. O índice PSE é mantido

⁹ *Benchmarking* é um instrumento de melhoria utilizado nos mais diversos sectores com o objetivo de encontrar as principais referências de gestão, modelos de boas práticas ou dados e informações, servindo como referência para o sector.

¹⁰ *Trader* é o participante do mercado financeiro que opera com o objetivo de obter ganhos no curto prazo através de instrumentos financeiros como ações, obrigações, *hedge funds*, e derivados sobre ativos financeiros e *commodities*, sendo os contratos de futuros um dos veículos mais utilizados para alcançar o referido objetivo.

¹¹ *American Depositary Receipts* são certificados de ações de empresas não americanas negociados nos Estados Unidos.

pela NYSE com o objetivo de fornecer uma referência do desempenho económico e financeiro de empresas que desenvolvem e usam inovação tecnológica em sectores como: *hardware*, *software*, armazenamento de dados, semicondutores, componentes eletrónicos e de telecomunicações, e é composto por 100 empresas (NYSE, s.d.).

O *Nationwide NYSE Arca Tech 100 Index Fund* foi criado pela *Nationwide Financial* em 1996 para replicar o desempenho do índice PSE e pode ser negociado com o investimento mínimo de USD 2 mil, tendo atualmente USD 800 milhões de ativos sob gestão (Morningstar, 2021).

3.2 Modelo de Fama-French de 3 fatores

O modelo de Fama-French (1992) de três fatores é um modelo de regressão linear, utilizado no mercado para avaliação de preços de ações e ativos e gestão de portfólios, que é baseado no CAPM e que acrescenta a este o efeito dimensão e o efeito tipo da empresa (empresas *value*¹² ou *growth*¹³) como fatores de risco adicionais do mercado que explicam a variação do preço das ações. Este modelo de avaliação considera o facto de os preços das ações de empresas de capitalização reduzida e os preços das ações de empresas *value* tenderem a evidenciar de forma regular um desempenho superior ao observado no índice de mercado. Ao incluir estes dois fatores de risco, o modelo tende a explicar esta tendência de desempenho superior.

Fama & French (1992) constaram que o desempenho das ações *value* é, em geral, superior ao evidenciado pelas ações *growth*. De igual modo, as ações de empresas de capitalização reduzida (pequenas empresas) tendem a evidenciar um desempenho superior às ações de empresas de capitalização elevada (grandes empresas). Assim, os três fatores considerados no modelo são o SMB (*small minus big*), o HML (*high minus low*) e o prémio de risco de mercado (excesso de retorno), que não são totalmente explicados pelo modelo CAPM (Fama & French, 2014).

O fator SMB, também designado de efeito dimensão, representa a diferença entre o desempenho das empresas de capitalização reduzida e o desempenho das empresas de capitalização elevada, onde o desempenho evidenciado pelas primeiras tende a ser superior

¹² No âmbito dos mercados acionistas, designam-se de ações *value* aquelas que apresentam valores elevados no rácio valor contabilístico / valor de mercado da ação.

¹³ Designam-se de ações *growth* aquelas que evidenciam valores reduzidos no rácio valor contabilístico / valor de mercado da ação.

ao evidenciado pelas segundas. O fator HML, também referido como *value premium*, representa a diferença entre o retorno proporcionado pelas designadas ações *value* e o proporcionado pelas ações *growth*. Este modelo argumenta que as empresas com rácios de valor contabilístico/valor de mercado elevados tendem a evidenciar um desempenho superior às empresas com rácios de valor contabilístico/valor de mercado reduzidos.

Broadstock *et al.* (2012) concluem que o modelo CAPM aumentado pelo preço do petróleo tem menos capacidade explicativa do que o modelo de Fama-French de três fatores para os dados de empresas de novas energias no mercado chinês. Assim, neste trabalho, usamos o modelo de Fama-French de três fatores aumentado pelo preço do petróleo. Este modelo permite examinar se o preço do petróleo exerce efeitos significativos no comportamento dos preços das empresas de energias renováveis e de empresas tecnológicas, quando os fatores de risco de mercado, que também podem estar a exercer efeitos nos preços destas empresas, são tidos em conta. Os três fatores de risco atuam no modelo como variáveis de controlo.

Pelos motivos acima citados, apesar do *Sharpe ratio* ser apresentado na tabela 2, optou-se por verificar também os resultados obtidos pela aplicação do modelo Fama-French de 3 fatores para as séries SOLAR, WIND e TECH em comparação com os resultados da série OIL, a fim de observar uma diferente abordagem para a verificação de como os fatores de risco afetam as séries estudadas, uma vez que este modelo considera o fato de que carteiras com um grande número de ações de pequena capitalização podem regularmente superar os mercados regulares.

A equação (1) é usada para investigar o efeito contemporâneo das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia. A sensibilidade em relação às variações do preço do petróleo, ou seja, o sinal e significância do coeficiente δ , constitui o nosso principal interesse. Assente na teoria, é esperado que $\delta > 0$ para as empresas de energia renováveis, baseado num efeito de substituição potencial de que o preço de petróleo elevado contribuiu para um aumento da utilização de energias renováveis e também no consumo e utilização de produtos ligados às energias renováveis.

$$R_t = \alpha + \delta OIL_t + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

A equação (2) é usada para examinar a existência de um efeito desfasado de variações no preço do petróleo no preço das ações de empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia. Este efeito desfasado pode resultar da hipótese de difusão e processamento gradual da informação contida nos preços do petróleo e a sua incorporação gradual nos

preços das ações das empresas de energias renováveis e tecnologias; pode resultar da hipótese de sub-reação do mercado à informação contida nos preços do petróleo e da hipótese de reversão da média das taxas de variação dos preços do petróleo, sugerindo que a informação desfasada dos preços do petróleo pode contribuir para prever os preços das ações de empresas de energias renováveis. Estas hipóteses levam-nos a examinar se o desfasamento das variações do preço do petróleo pode ter algum impacto nos preços das ações de empresas de energias renováveis. Para captar quaisquer efeitos dinâmicos incluímos no modelo dois desfasamentos.

$$R_t = \alpha + \sum_{i=1}^2 \delta_i OIL_{t-i} + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

A equação (3) é usada para examinar o efeito assimétrico das variações do preço do petróleo nos preços das empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia. Alguma literatura anterior (Mork, 1989) obteve evidências de que os efeitos do preço do petróleo são assimétricos. No modelo representado por esta equação (3), separamos a série de variações do preço do petróleo numa variação positiva assimétrica do preço do petróleo, $OIL_t^+ = \max(OIL_t, 0)$, e numa variação negativa assimétrica do preço do petróleo, $OIL_t^- = \min(OIL_t, 0)$. De seguida usamos o teste de Wald para testar a hipótese nula de $\delta_1 = \delta_2$. E testamos se as variações positivas e negativas do preço do petróleo têm um impacto diferente nas variações dos preços das ações das empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia.

$$R_t = \alpha + \delta_1 OIL_t^+ + \delta_2 OIL_t^- + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

As séries de dados mensais dos fatores $R_{m,t}$, HML_t e SMB_t foram obtidas da página online de Kenneth French, o investigador que desenvolveu o modelo, no domínio da Dartmouth College (https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html) (French, s.d.). As variáveis nos modelos têm a seguinte notação: R_t representa a variação do preço das ações das empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia no período t , OIL_t representa a variação do preço do petróleo no período t , $R_{m,t}$ representa a variação do índice de mercado no período t , HML_t e SMB_t representam os fatores de risco do modelo de Fama-French, acima apresentados, para o período t .

3.2 Vetores Autoregressivos (VAR)

O método de vetores autoregressivos (VAR) é um dos métodos de estimação das relações de dependência entre múltiplas variáveis mais populares em econometria devido à sua flexibilidade e facilidade de generalização e é um modelo utilizado para captar a evolução desta interação ao longo do tempo, generalizando o processo autoregressivo univariado a um espaço multivariado (Brooks, 2002; Silva, 2015). O modelo VAR é usado neste estudo para analisar empiricamente as relações dinâmicas entre os preços das ações de empresas de energias alternativas, nomeadamente, de energia solar e de energia eólica, os preços das ações de empresas de base tecnológica e os preços do petróleo. Este modelo tem como principal vantagem, como já referido na secção 2.2, assumir todas as variáveis como endógenas, ou seja, o investigador não tem a necessidade de propor suposições prévias acerca de que variáveis são variáveis resposta e que variáveis são variáveis explicativas. Assim, num modelo VAR, cada variável depende dos seus valores prévios desfasados e dos valores prévios desfasados de todas as outras variáveis no sistema. Este modelo admite uma estrutura de relações que permite captar propriedades dinâmicas complexas nos dados, reduzindo os riscos de que uma escolha equivocada do investigador afete significativamente os resultados (Brooks, 2002; Lutkepohl, 2005).

O modelo VAR com p desfasamentos de todas as variáveis, VAR(p), pode ser apresentado como na equação (4):

$$y_t = a + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + B x_t + u_t \quad (4)$$

onde $y_t = (y_{1,t}, \dots, y_{k,t})'$ é um vetor aleatório ($K \times 1$), A_i são matrizes dos parâmetros ($K \times K$), x_t é um vetor ($R \times 1$) de variáveis exógenas, B é uma matriz de coeficientes ($K \times R$), a é um vetor ($K \times 1$) de parâmetros fixos e u_t é o vetor dos termos dos erros, considerados independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.), com média zero e variância constante, ou seja, $E(u_t) = \mathbf{0}$, $E(u_t u_t') = \Sigma$ e $E(u_t u_s') = \mathbf{0}$ para $t \neq s$. Como as funções de interesse no presente estudo, ou seja, as funções de resposta ao impulso (FRI), dependem apenas das variáveis endógenas através dos seus efeitos nas matrizes estimadas A_i , a notação do modelo pode ser simplificada removendo-as da análise, embora as matrizes A_i sejam estimadas conjuntamente com a matriz B das variáveis exógenas.

Considerando o modelo VAR(p), sem as variáveis exógenas, este é especificado como:

$$y_t = a + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + u_t \quad (5)$$

Toda a informação acerca das correlações contemporâneas entre as k variáveis em y_t está contida em Σ , a matriz das variâncias-covariâncias dos termos dos erros. De facto, o VAR pode ser visto como a forma reduzida de um modelo de equações simultâneas dinâmicas. Para ver como os choques afetam as variáveis em y_t após i períodos, o VAR pode ser especificado na sua forma de média móvel:

$$y_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \Phi_i u_{t-i} \quad (6)$$

onde μ é o vetor das médias de y_t , invariantes no tempo, e

$$\Phi_i = \begin{cases} I_k & \text{se } i = 0 \\ \sum_{j=1}^i \Phi_{i-j} A_j & \text{se } i = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (7)$$

O VAR pode ser expresso na forma de média móvel apenas se for estável. O VAR é estável se as variáveis que o integram forem covariâncias-estacionárias, ou seja, integradas de ordem zero, $I(0)$, e se nenhum dos coeficientes de autocorrelação na matriz A_i for muito elevado. A matriz Φ_i representa as FRI simples. O (j, k) elemento de Φ_i representa o efeito de um aumento unitário no k -ésimo elemento de u_t no j -ésimo elemento de y_t , após i períodos, mantendo tudo o resto constante. Porém, como os elementos de u_t estão contemporaneamente correlacionados, não é possível estabelecer uma interpretação causal no efeito provocado por um choque numa variável nela própria e nas outras variáveis de y_t . A correlação contemporânea entre os elementos de u_t implica que um choque numa variável seja acompanhado por choques em algumas das outras variáveis, não sendo possível assegurar que o choque ocorre apenas numa variável. Este inconveniente pode ser ultrapassado reescrevendo (7) em termos de inovações mutuamente independentes.

Para obter inovações mutuamente independentes, a matriz de variâncias-covariâncias dos erros, Σ , é decomposta no produto de uma matriz triangular inferior, P , pela sua matriz adjunta, tal que $\Sigma = PP'$. Assim, obtém-se, $E\{P^{-1}u_t(P^{-1}u_t)'\} = P^{-1}\Sigma P^{-1'} = I_k$.

Assim, pode-se usar P^{-1} para ortogonalizar o vetor u_t , e reescreve-se (7) como:

$$\begin{aligned} y_t &= \mu + \sum_{i=1}^{\infty} \Phi_i P P^{-1} u_{t-i} \\ &= \mu + \sum_{i=1}^{\infty} \Theta_i P^{-1} u_{t-i} \\ &= \mu + \sum_{i=1}^{\infty} \Theta_i w_{t-i} \end{aligned} \quad (8)$$

onde $\Theta_i = \Phi_i P$ e $w_t = P^{-1}u_t$. Obtendo P , os elementos de w_t são mutuamente ortogonais e nenhuma informação é perdida, no pressuposto de tudo o resto se manter constante, permitindo que Θ_i tenha a interpretação causal que se pretende.

A obtenção da matriz P é semelhante a impor restrições de identificação num sistema de equações estruturais dinâmicas. Sims (1980) popularizou o método de escolher P através da decomposição de Cholesky de $\hat{\Sigma}$. As FRI baseadas neste método de obtenção de P são designadas de FRI ortogonalizadas. Obter P através da decomposição de Cholesky de $\hat{\Sigma}$ é equivalente a impor uma estrutura recursiva ao modelo correspondente de equações estruturais dinâmicas.

O processo de ortogonalização dos choques procura dar resposta a questões sobre a estrutura da economia, que no presente estudo se aplicam no contexto dos mercados de energia, e estas referem-se ao impacto que os diferentes tipos de choques não correlacionados entre si têm nas variáveis incluídas no sistema. No entanto a decomposição de Cholesky postula uma forma de “cadeia causal” de choques. Ou seja, o 1º choque afeta todas as variáveis no período t , o 2º choque afeta apenas as restantes $(k - 1)$ variáveis no período t , o 3º choque afeta apenas as restantes $(k - 2)$ variáveis no período t , e o último choque apenas afeta a última variável do sistema. Assim, este processo tem como inconveniente o facto de a ortogonalização e respetiva escolha da “ordem causal” dos choques ser arbitrária.

Na estimação do VAR, na equação (5), existem $k^2 p$ parâmetros livres. Consequentemente, a seleção do número adequado de desfasamentos, p , é importante. Se o número de desfasamentos definido for muito grande em relação ao tamanho da amostra (T), a utilização de um maior número parâmetros no processo de estimação poderá levar a erros padrão mais elevados nos coeficientes estimados. Se o comprimento das desfasagens prévias for muito baixo, pode não haver desfasagens suficientes no VAR para captar adequadamente as propriedades dinâmicas dos dados. Idealmente, o modelo escolhido também não deve conter correlação em série nos resíduos (Brooks, 2002; Henriques & Sadorsky, 2008).

Se cada uma das variáveis no VAR é integrada de ordem 1, $I(1)$, o VAR pode ser estimado nas primeiras diferenças e o modelo vetorial de correção do erro (VECM) pode ser usado nos valores originais das variáveis para estimar as relações e realizar testes de hipóteses no sistema (Brooks, 2002). Porém, em geral, não é conhecido *à priori* se o conjunto de

variáveis que constituem o sistema estão cointegradas e, assim, são necessários testes de raízes unitárias e testes de cointegração antes do modelo VAR ser estimado. Adicionalmente, os VECMs só podem ser estimados em modelos onde todas as variáveis têm a mesma ordem de integração.

Toda & Yamamoto (1995) propõem um procedimento de teste do VAR aumentado no número de defasamentos [VAR-LA (*lag augmented*)] que é robusto às propriedades de integração e cointegração dos dados e que evita o possível enviesamento nos testes prévios. Desde que a ordem de integração das variáveis não exceda o verdadeiro número de defasamentos do modelo VAR, os critérios usuais de seleção do número de defasamentos podem ser usados para selecionar o número de defasamentos apropriado (p). O VAR é estimado com $p + d_{max}$ defasamentos onde d_{max} é a ordem de integração máxima esperada. As restrições lineares e não lineares nas primeiras p matrizes dos coeficientes estimados são testadas usando a teoria assintótica convencional. As últimas d_{max} matrizes dos coeficientes são ignoradas dado que estas são vistas como matrizes nulas. Yamada & Toda (1998) constataram que, usando simulações Monte Carlo para dimensões amostrais de 50, 100 e 200 observações, a abordagem VAR-LA tem maior estabilidade na dimensão do efeito presente nas amostras do que a abordagem VECM, enquanto a abordagem VECM tem maior poder estatístico¹⁴ do que a abordagem VAR-LA.

Devido ao elevado número de coeficientes estimados no VAR, os coeficientes individuais em si não comportam um interesse especial de análise. Os modelos VAR são usados principalmente para testar a causalidade à Granger (ou seja, se os valores defasados de uma ou de um conjunto de variáveis contém informação útil para prever o valor corrente de outra variável) e para descrever as dinâmicas das séries do sistema. As dinâmicas do modelo podem ser estudadas usando as FRI. Neste contexto as FRI apresentam o impacto de um choque de um desvio-padrão numa variável nos valores correntes e futuros nessa e nas outras variáveis. Se dois ou mais termos dos erros no VAR estão contemporaneamente correlacionados, as FRI estão correlacionadas, tornando difícil a interpretação destas. A imposição de uma condição de ortogonalidade na matriz, positiva definida, de covariância dos erros, permite que um choque numa variável não tenha efeitos contemporâneos nas outras variáveis do sistema. Para obter a ortogonalidade dos termos dos erros é geralmente utilizado o método de decomposição de Cholesky de $\hat{\Sigma}$. Porém, as FRI resultantes podem não ser robustas à ordem das variáveis no VAR.

¹⁴ A potência estatística de um teste é definida como a probabilidade de detetar um efeito “verdadeiro” nos dados da amostra quando o efeito está realmente presente na população em análise. Em termos estatísticos é definida como: $[1 - P(\text{Erro Tipo II})]$, onde $P(\text{Erro Tipo II})$ define a probabilidade de não rejeitar a hipótese nula quando esta é falsa.

Assim, no presente estudo, são utilizadas duas abordagens de análise da dinâmica do sistema. A primeira baseia-se nas FRI generalizadas (Pesaran e Shin, 1998), que não dependem da ordem no VAR. A segunda baseia-se na decomposição de Cholesky de $\hat{\Sigma}$, onde, considerando as evidências sugeridas na literatura, a ordem das variáveis é definida como $\mathbf{y}_t = (O_t, I_t, T_t, S_t, W_t)$, onde O_t representa o preço do petróleo, I_t representa a taxa de juro no mercado, T_t representa o preço das ações de empresas cotadas de base tecnológica, S_t representa o preço das ações de empresas cotadas de produção de energia solar e W_t o preço das ações de empresas cotadas de produção energia eólica. Assim, é esperado que choques no mercado nas empresas de base tecnológica, de energia solar e energia eólica não exerçam efeitos contemporâneos no comportamento do preço do petróleo e das taxas de juro. Porém, considerando a evidência sugerida na literatura, é esperado que choques no preço do petróleo, resultantes de alterações nas condições da oferta (i.e., países produtores) e da procura desta fonte de energia, e na taxa de juro, exerçam efeitos contemporâneos nos preços das empresas tecnológicas e nas empresas de produção de energia renovável.

4. Apresentação e Análise de Dados

Este estudo segue a metodologia de coleta de dados utilizada por Henriques & Sadorsky (2008), utilizando observações semanais e tomando como referência os preços de fecho do mercado às quartas-feiras. A utilização de observações semanais apresenta maior consistência que o uso de dados mensais e menor ocorrência de ruído do que seria observado em dados diários. Assim, à semelhança de Henriques & Sadorsky (2008), optou-se por utilizar os preços de fecho das quartas-feiras por ser um dia que, geralmente, apresenta menos feriados que os demais dias da semana. Nos casos de ocorrerem feriados às quartas-feiras, o preço de fecho utilizado será o observado no dia útil seguinte.

Além das séries apresentadas na seção 3.1, foi também utilizada a série histórica do índice Standard & Poor's 500, que representa o desempenho das 500 maiores empresas com cotação nas bolsas americanas NYSE ou Nasdaq, sendo os preços das ações deste índice ponderados pelo valor de mercado destas empresas. Como referência para a taxa de juro sem risco, utilizou-se a série de rendimentos de bilhetes do Tesouro dos Estados Unidos com maturidade de 3 meses, sendo estes dados obtidos do Federal Reserve Bank of St. Louis (<https://www.stlouisfed.org/>).

4.1. Caracterização da Amostra e Estatística Descritiva

A amostra é composta por 600 observações semanais, compreendendo o período entre 06 de janeiro de 2010 e 30 de junho de 2021 para as séries Invesco Solar ETF (TAN), First Trust ISE Global Wind Energy Index Fund (FAN), NYSE Arca Tech 100 Index (PSE) e os preços do petróleo WTI. A figura 2 apresenta as séries históricas individualizadas e, para facilitar a sua visualização, foram adotadas, respetivamente, as legendas SOLAR, WIND, TECH e OIL.

A visualização das séries históricas (figura 2) ajuda a perceber um padrão de crescimento nos preços da energia solar e da energia eólica em 2014, quando o preço do petróleo apresentou uma queda mais acentuada. É possível observar algumas similaridades entre as séries das energias renováveis, com uma queda nos preços a partir de 2011, um movimento de subida após 2013 (com uma nova queda significativa para a energia solar em 2015), e um crescimento sem precedentes a partir de 2020, mesmo período em que os preços do petróleo caíram significativamente. Estes últimos eventos podem estar relacionados à

pandemia COVID-19, já que acontecem no mesmo intervalo de tempo do início das medidas adotadas mundialmente no âmbito da pandemia. A série de tecnologia apresenta um padrão de crescimento durante todo o período observado, com um padrão de crescimento mais acentuado a partir de 2016, e intensificado em 2020, com efeitos também possivelmente relacionados à pandemia COVID-19.

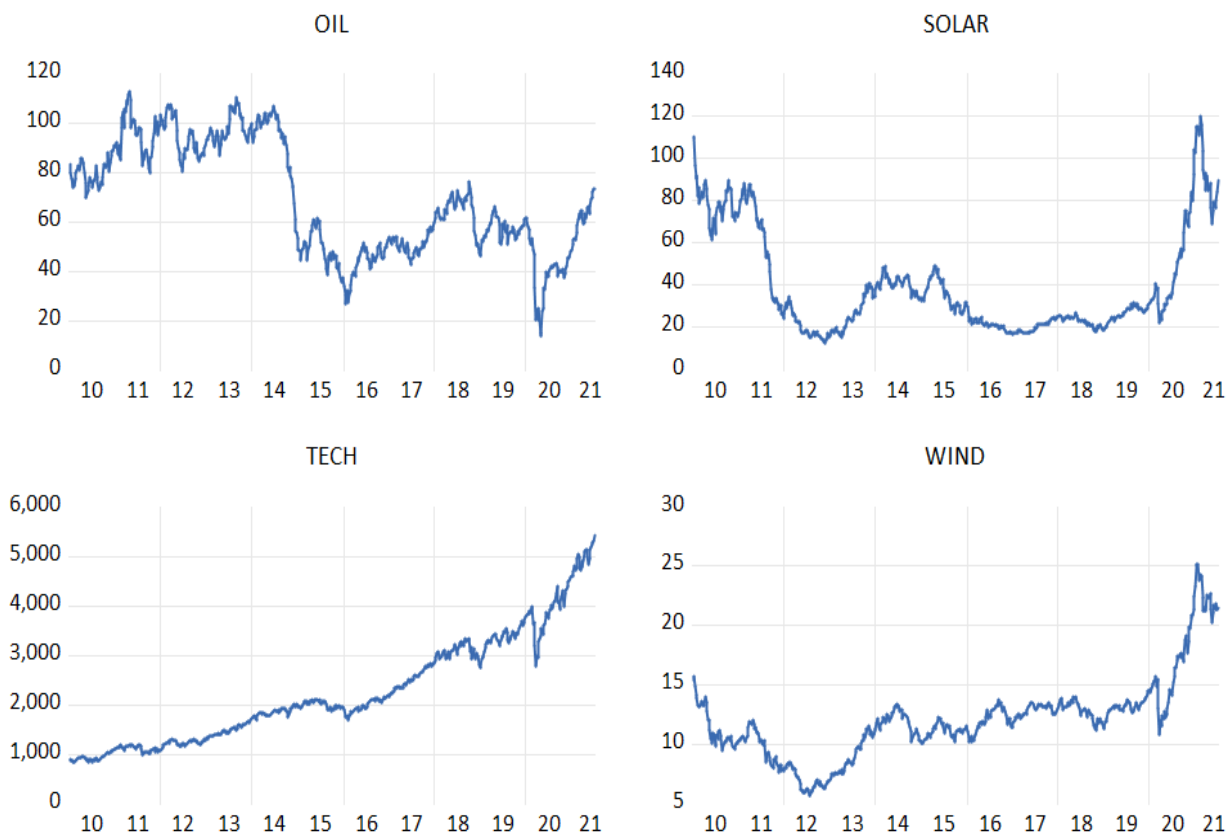


Figura 2. Séries históricas Oil, Solar, Tech e Wind entre janeiro de 2010 e junho de 2021.

Fonte: Eviews versão 11

A figura 3 apresenta uma visualização simultânea do comportamento das séries, apresentadas em função dos seus logaritmos naturais para visualização em janela única, uma vez que há diferenças de escala entre as séries. A apresentação em escala logarítmica, embora suavize os pontos onde a volatilidade é mais elevada, ainda permite perceber os padrões de variação (crescimento e queda) de cada uma das séries analisadas. O gráfico permite visualizar os eventos simultâneos, ocorridos em 2020, de queda nos preços do petróleo e crescimento no valor das ações de empresas ligadas às energias solar e eólica.

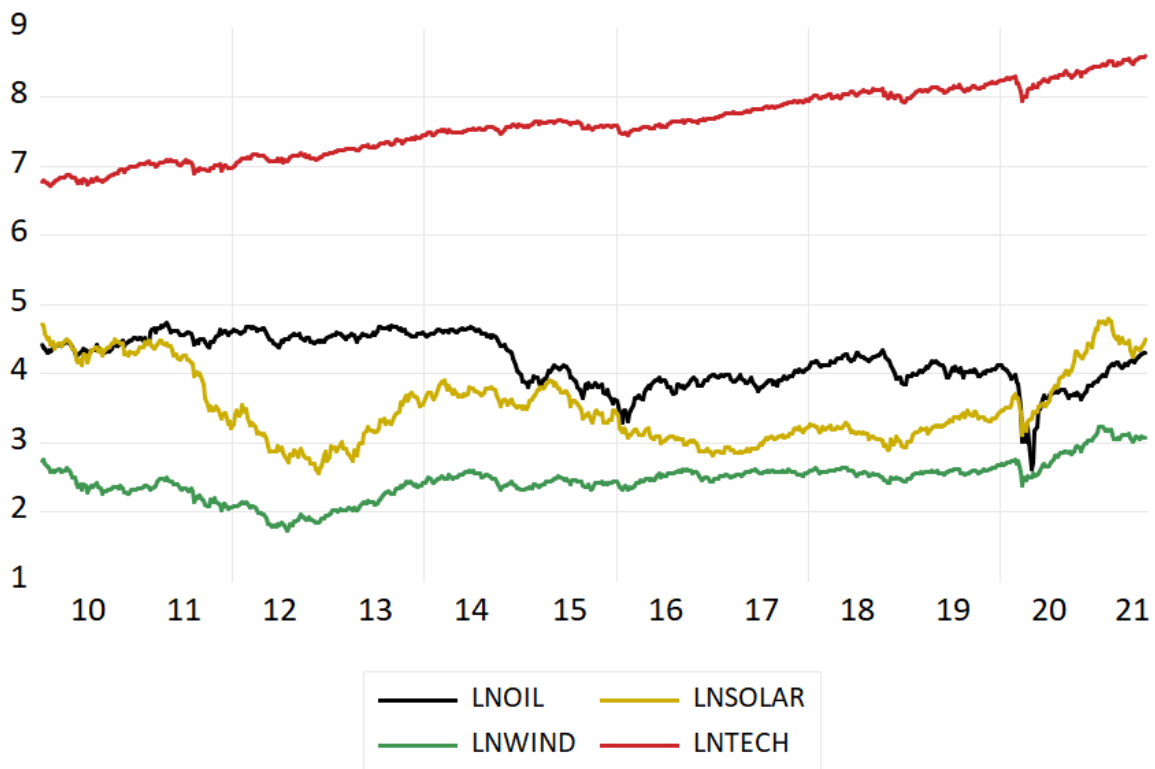


Figura 3. Gráficos em simultâneo das séries LNOIL, LNSOLAR, LNWIND e LNTECH, em escala logarítmica.
Fonte: Eviews versão 11

A tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas para os retornos semanais continuamente compostos, definido como o logaritmo natural da primeira diferença em cada período. A partir dos retornos médios semanais das OIL, SOLAR, WIND e TECH, apresentados na tabela 1, é possível obter os retornos anuais multiplicando-se as médias por 52, resultando em -1.07%, -1.83%, 2.90% e 15.77%, respetivamente. Estes valores refletem o enfraquecimento do mercado de petróleo no período em análise e o fortalecimento do valor de mercado das empresas de tecnologia, que evidenciam um retorno médio anualizado comparável com o retorno médio anualizado de 11,54% do índice S&P 500 (Standard & Poor's 500), que acompanha os 500 maiores ativos cotados nas bolsas americanas e é ponderado pelo valor de mercado destas empresas. Foi utilizado como referência para a taxa de juros, o rendimento de bilhetes do Tesouro dos Estados Unidos com maturidade de 3 meses, com uma média de 0.52%.

O retorno ajustado ao risco é medido através do *Sharpe ratio* anualizado, que indica o excesso de retorno do correspondente ativo, por unidade risco (desvio-padrão), em relação ao ativo livre de risco, neste caso a taxa de juros dos títulos do Tesouro do Estados Unidos com maturidade de 3 meses. A tabela 1 mostra que o investimento em tecnologia é preferível em relação às demais, sendo seguido pela energia eólica. A energia solar apresenta, para o

período considerado e numa base de risco ajustado, um excesso de retorno por unidade de risco muito próximo ao apresentado pelo investimento no petróleo, sendo estes dois ativos, para este período, aqueles com menor atratividade do ponto de vista dos investidores.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das observações semanais dos retornos continuamente compostos das séries.

| | OIL | SOLAR | WIND | TECH | S&P 500 | RATE |
|--------------------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Média | -0.020 | -0.035 | 0.055 | 0.303 | 0.221 | 0.527 |
| Mediana | 0.247 | 0.337 | 0.302 | 0.636 | 0.4655 | 0.115 |
| Máximo | 46.559 | 17.102 | 10.804 | 10.496 | 10.717 | 2.420 |
| Mínimo | -48.183 | -33.067 | -18.802 | -13.735 | -13.378 | -0.040 |
| Desvio-Padrão. | 5.820 | 5.916 | 3.143 | 2.470 | 2.145 | 0.053 |
| Assimetria | -0.660 | -0.388 | -0.812 | -1.189 | -1.343 | 1.399 |
| Curtose | 22.849 | 5.153 | 7.284 | 7.893 | 10.858 | 3.414 |
| Estat. Jarque-Bera | 9877.589 | 130.808 | 523.947 | 738.814 | 1721.673 | 200.037 |
| Probabilidade | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Observações | 599 | 599 | 599 | 599 | 599 | 599 |
| Sharpe Ratio | -0.275 | -0.398 | 0.754 | 6.171 | 5.134 | 0 |

O teste Jarque-Bera é um teste à normalidade da variável em que a hipótese nula (H_0) consiste na variável seguir uma distribuição normal. Como pode ser observado na linha ‘Probabilidade’, a probabilidade associada à estatística do teste para todas as variáveis é igual a zero. Assim, o teste de Jarque-Bera rejeita a hipótese nula, o que significa que os rendimentos continuamente compostos das variáveis não seguem uma distribuição normal.

4.2. Resultados do modelo Fama-French de 3 fatores

Nas tabelas 2, 3 e 4 apresentam-se os resultados obtidos com a aplicação do modelo Fama-French de 3 fatores para as equações (1), (2) e (3), respetivamente, que são apresentadas na secção 3.2. As equações foram estimadas pelo método dos mínimos quadrados, com os valores dos erros padrão dos coeficientes ajustados pelo método de Newey-West (erros padrão consistentes à heterocedasticidade¹⁵ e autocorrelação dos erros), estando os resultados também disponíveis no Anexo I. Os retornos utilizados nas regressões foram calculados pela equação (9):

$$R_{i,t} = \ln (P_{i,t}/P_{i,t-1}) - R_{rf}, \quad (9)$$

¹⁵ Heterocedasticidade é um fenómeno estatístico que ocorre quando a variância dos erros não é constante ao longo da série.

onde $R_{i,t}$ é o excesso de retorno do ativo i no mês t , $P_{i,t}$ é o valor de fecho da cotação do ativo i no mês t , $P_{i,t-1}$ é o valor de fecho da cotação do ativo i no mês anterior ($t-1$) e R_{rf} é o retorno do ativo sem risco no mês t . O ativo sem risco é *proxied* pelo rendimento dos bilhetes do Tesouro, com maturidade a 3 meses.

Na tabela 2, são apresentados os coeficientes da primeira regressão linear (1), que analisa o efeito contemporâneo das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia. A estatística Breusch-Godfrey testa a hipótese nula de não haver correlação em série entre os resíduos da regressão. Assim, caso a hipótese nula seja aceita, a equação pode ser usada para testes de hipótese e projeções sem a necessidade de re-especificação. A tabela também apresenta os resultados para o teste de White, que verifica a heterocedasticidade dos resíduos da equação (por padrão, o teste é calculado sem os termos de produto vetorial, ou seja, usando apenas os termos que envolvem as variáveis originais e os quadrados das variáveis originais), com hipótese nula da presença de homocedasticidade nos resíduos da equação.

A estatística F testa a hipótese nula das variáveis no modelo estimado não serem estatisticamente significativas na explicação das variações da variável dependente, ou seja, testa a hipótese nula dos coeficientes estimados não serem estatisticamente diferentes de zero. A hipótese nula do teste de Breusch-Godfrey, de que não há correlação em série nos resíduos da regressão é aceita para as regressões explicativas das séries SOLAR, WIND e TECH dos 3 modelos analisados. O mesmo ocorre para a estatística de White, onde a suposição de homocedasticidade, que implica que os resíduos do modelo estimado apresentam uma variância constante, também é aceita para as três regressões estimadas em cada um dos três modelos.

Tabela 2. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito contemporâneo.

| Coeficientes | SOLAR | WIND | TECH |
|------------------------|------------|-----------|-------------|
| α | -0.0211* | -0.0086 | 0.0009 |
| δ | 0.0736 | 0.0741** | 0.0071 |
| β_1 | 0.0151*** | 0.0096*** | 0.0097*** |
| β_2 | -0.0053** | -0.0017 | -0.0016*** |
| β_3 | 0.0063 | -0.0010 | 0.0007 |
| T (nº observações) | 137 | 137 | 137 |
| R^2 | 0.3656 | 0.4996 | 0.9027 |
| R^2 ajustado | 0.3463 | 0.4844 | 0.8987 |
| Estatística F | 19.0194*** | 32.955*** | 306.2203*** |
| Estat. Breusch-Godfrey | 1.1711 | 2.1129 | 0.8718 |
| Estatística White | 0.2955 | 0.3610 | 0.8510 |

Nota: esta tabela apresenta os coeficientes estimados baseados na equação (1). *, ** e *** denota a significância ao nível de 10%, 5% e 1%. A estatística de F testa a hipótese nula de todos os coeficientes serem zero. A estatística de Breusch-Godfrey testa a correlação em série dos resíduos dos mínimos quadrados. A estatística de White testa a heterocedasticidade dos resíduos dos mínimos quadrados. Todos os erros padrão e as probabilidades dos erros tipo I são corrigidos da heterocedasticidade e autocorrelação de forma desconhecida usando a matriz de covariâncias de Newey-West.

Na tabela 2 é possível observar que, com a aplicação da equação (1), o resultado mostra que $\delta > 0$ para as empresas de energias renováveis, o que corrobora com o suposto da teoria de que há um efeito de substituição presente na relação entre o petróleo e as energias renováveis, mas o coeficiente δ é apenas estatisticamente significativo para o fator OIL em relação à série WIND, com significância de 5%, sugerindo que um aumento no preço do petróleo tende a contribuir para o aumento da utilização e incentivos de investimentos na energia eólica e produtos relacionados.

A maior magnitude do coeficiente para as séries renováveis em relação à tecnologia pode ser explicado pelo fato de representarem investimentos de menor retorno face ao risco, como mostrado na tabela 1. O coeficiente da constante de regressão é significativo a 10% apenas para a série SOLAR, e o fato de ser negativo indica que nem todo risco sistemático é captado pelos fatores considerados, como em Brito & Murakoshi (2009). O coeficiente β_1 , associado ao fator de excesso de retorno de mercado R_m , apresenta significância de 1% para as três séries, o que mostra que o excesso de retorno da carteira de mercado é essencial na explicação dos retornos das empresas de energias renováveis e de tecnologia. O coeficiente β_2 possui significância de 5% para o fator relacionado ao valor da empresa (HML) na série SOLAR e de 1% para a série TECH e seu sinal negativo indica um prêmio negativo para as empresas com maiores rácios de valor contábilístico/valor de mercado. O coeficiente β_3 , fator relacionado ao tamanho das empresas (SMB), apresenta uma relação negativa para os retornos da série WIND, mas não é estatisticamente significativo para nenhuma das séries analisadas, o que indica que o tamanho da empresa é pouco relevante na explicação do desempenho das ações no mercado (Brito & Murakoshi, 2009).

A tabela 3 mostra os resultados da estimação de regressões que visam examinar a existência de um efeito desfasado de variações no preço do petróleo no preço das ações de empresas de energias renováveis e empresas de tecnologia através da aplicação da equação (2). Como citado na seção 3.2, foram incluídos no modelo o efeito de dois desfasamentos para verificar o impacto das variações desfasadas no preço do petróleo sobre empresas de energia renovável. O coeficiente δ_1 representa o efeito de 1 desfasamento (t-1) e o coeficiente δ_2 mostra o efeito de 2 desfasamentos (t-2). Assim, é possível observar que, com a desfasagem dos períodos, o coeficiente, que antes era significativo apenas para SOLAR, deixa de ser significativo, ou seja, o risco sistemático deixa de ser capturado pelos fatores. Mesmo no

caso da série WIND, onde o coeficiente δ mantém a significância estatística e permanece com o sinal positivo para o fator OIL após 1 desfasamento, percebe-se o enfraquecimento do coeficiente, passando de 0.0741 em t (tabela 2) para 0.0542 em t-1 (tabela 3) e perdendo a significância em t-2. O coeficiente β_2 , que no primeiro modelo (tabela 2) era significativo para o fator SMB da série SOLAR também perde a significância no segundo modelo (tabela 3), mostrando que o efeito do desfasamento faz com que o fator relacionado ao valor da empresa tenha seu poder explicativo enfraquecido, reforçando a hipótese de que os preços do petróleo auxiliam na formação dos preços de energias renováveis apenas no curto prazo.

Tabela 3. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito desfasado.

| Coeficientes | SOLAR | WIND | TECH |
|------------------------|------------|------------|-------------|
| α | -0.0220 | -0.0098 | 0.0003 |
| δ_1 | 0.0204 | 0.0542** | 0.0162** |
| δ_2 | 0.0319 | -0.0178 | -0.0125 |
| β_1 | 0.0163*** | 0.0108*** | 0.0099*** |
| β_2 | -0.0046 | -0.0009 | -0.0016*** |
| β_3 | 0.0068 | -0.0006 | 0.0006 |
| T | 135 | 135 | 135 |
| R^2 | 0.3728 | 0.5074 | 0.9106 |
| R^2 ajustado | 0.3485 | 0.4884 | 0.9071 |
| Estatística F | 15.3388*** | 26.5847*** | 262.8704*** |
| Estat. Breusch-Godfrey | 0.1107 | 0.0823 | 0.4619 |
| Estatística White | 0.3510 | 0.3586 | 0.6270 |

Nota: esta tabela apresenta os coeficientes estimados baseados na equação (2). *, ** e *** denota a significância ao nível de 10%, 5% e 1%. A estatística de F testa a hipótese nula de todos os coeficientes serem zero. A estatística de Breusch-Godfrey testa a correlação em série dos resíduos dos mínimos quadrados. A estatística de White testa a heterocedasticidade dos resíduos dos mínimos quadrados. Todos os erros padrão e as probabilidades dos erros tipo I são corrigidos da heterocedasticidade e autocorrelação de forma desconhecida usando a matriz de covariâncias de Newey-West.

Na aplicação do terceiro modelo (3) (tabela 4), obtém-se que o coeficiente relacionado às variações positivas no preço do petróleo causa um impacto negativo nas séries SOLAR e TECH e o coeficiente relacionado às variações negativas tem um impacto positivo nas mesmas, apresentando assim um comportamento assimétrico, porém estes coeficientes não são estatisticamente significativos. Tanto os coeficientes que representam as variações positivas quanto negativas do preço do petróleo têm impacto positivo na série WIND, mas apenas δ_1^+ tem significância estatística. Assim como nos dois modelos anteriores, o coeficiente β_1 , relacionado ao fator de risco de mercado, é estatisticamente significativo para as três regressões e o coeficiente β_2 , relacionado ao valor da empresa, é significativo e negativo para as regressões das séries SOLAR e TECH, como ocorreu no modelo 1 (tabela

2), indicado um prêmio negativo para as empresas com maiores rácios de valor contabilístico/valor de mercado.

O teste de Wald, que tem como finalidade aferir o grau de significância dos coeficientes da equação, foi aplicado no modelo (3) para testar a hipótese nula de $\delta_1 = \delta_2$. O teste resultou em um *p-value* de 0.023694 para SOLAR, 0.015194 para WIND e 0.02184 para TECH, que permite rejeitar, para as três regressões, a hipótese nula de que $\delta_1 = \delta_2$, isto é, que δ_1 e δ_2 sejam iguais, assim, pode-se aceitar a hipótese de que eles são estatisticamente diferentes.

Tabela 4. Impacto das variações do preço do petróleo nas empresas de energias renováveis e tecnológicas – efeito assimétrico.

| Coeficientes | SOLAR | WIND | TECH |
|------------------------|------------|------------|-------------|
| α | -0.0118 | -0.0092 | 0.0018 |
| δ_1^+ | -0.0516 | 0.0821** | -0.0044 |
| δ_2^- | 0.1853 | 0.0669 | 0.0174 |
| β_1 | 0.0149*** | 0.0096*** | 0.0097*** |
| β_2 | -0.0066** | -0.0016 | -0.0018*** |
| β_3 | 0.0066 | -0.0011 | 0.0007 |
| T | 137 | 137 | 137 |
| R^2 | 0.3728 | 0.4997 | 0.9031 |
| R^2 ajustado | 0.3489 | 0.4806 | 0.8995 |
| Estatística F | 15.5766*** | 26.1761*** | 244.4532*** |
| Estat. Breusch-Godfrey | 1.4441 | 2.0999 | 1.1008 |
| Estatística White | 1.0906 | 1.5505 | 0.7749 |

Nota: esta tabela apresenta os coeficientes estimados baseados na equação (3). *, ** e *** denota a significância ao nível de 10%, 5% e 1%. A estatística de F testa a hipótese nula de todos os coeficientes serem zero. A estatística de Breusch-Godfrey testa a correlação em série dos resíduos dos mínimos quadrados. A estatística de White testa a heterocedasticidade dos resíduos dos mínimos quadrados. Todos os erros padrão e as probabilidades dos erros tipo I são corrigidos da heterocedasticidade e autocorrelação de forma desconhecida usando a matriz de covariâncias de Newey-West.

Para os três modelos (tabelas 2, 3 e 4), os *p-values* associados à estatística F são inferiores a 1%, permitindo rejeitar a hipótese nula de que as variáveis explicativas inseridas no modelo não são significativas para explicar a variação amostral da variável dependente, ou seja, que os conjuntos de coeficientes das variáveis são iguais a zero. Estes resultados sugerem que o modelo de Fama-French de 3 fatores, acrescido da variação dos preços do petróleo é significativo na explicação da variação dos excessos de retorno das séries temporais analisadas.

Para os três modelos, os coeficientes de determinação (R^2) mostram-se significativos, sem grandes variações causadas pelas mudanças dos modelos em cada série (entre 0.36 e 0.37 para SOLAR, 0.49 e 0.50 para WIND e 0.90 e 0.91 para TECH). Os menores coeficientes de

determinação para as energias renováveis, ou seja, uma menor variabilidade dos retornos das séries das energias solar e eólica explicada pela variabilidade no petróleo, é coerente com o pressuposto de que o petróleo na realidade tem pouca influência neste mercado. Entretanto, a análise do R^2 pode não ser suficiente para identificar comportamentos de tendência nas estimativas dos coeficientes (Brooks, 2002).

4.3. Resultados do Modelo VAR

4.3.1. Testes de Estacionariedade: Dickey-Fuller Aumentado, Phillips-Perron e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

A estacionariedade é uma característica das séries temporais que possuem média, variância e covariância constantes, ou seja, que não apresentam a ocorrência de fenômenos de tendências estocásticas. Na figura 1 foram apresentadas evidências de que as séries utilizadas são não-estacionárias, devido à presença de picos e vales e comportamentos nítidos de tendências estocásticas (como é o caso da série TECH), características estas desadequadas à aplicação do modelo, uma vez que a estacionariedade de uma série requer que esta apresente primeiros e segundos momentos constantes ao longo do tempo.

Na aplicação do modelo VAR é fundamental que todas as séries sejam estacionárias para garantir a estabilidade do modelo, possibilitando o uso dos testes de hipótese, além de evitar a ocorrência do fenômeno da regressão espúria¹⁶ (Brooks, 2002), que ocorre quando duas variáveis, não diretamente correlacionadas, apresentam correlação com uma terceira variável e a regressão entre as primeiras duas é estatisticamente significativa, mas sem significado, porque cada uma delas é explicada por essa terceira variável (Lutkepohl, 2005).

Segundo Brooks (2002), os métodos utilizados para caracterizar a não estacionariedade de uma série são os testes de raiz unitária, que detetam a presença de uma ou mais raízes unitárias nas séries temporais. Uma série temporal que possuiu uma raiz unitária é considerada não estacionária, devido à presença de um caminho aleatório, ou seja, de tendências estocásticas. Vários testes foram propostos para testar a existência de raízes unitárias, sendo o teste de Dickey-Fuller um dos mais utilizados nas aplicações empíricas. Este teste tem por objetivo testar a hipótese nula, $H_0: \Phi = 1$, na regressão:

¹⁶ Se as técnicas padrão de regressão são aplicadas a dados não estacionários, o resultado final pode parecer correto sob as medidas padrão (significância das estimativas dos coeficientes e R^2 elevado), mas não tem valor real, verificando-se uma regressão espúria (Brooks, 2002).

$$y_t = \Phi y_{t-1} + u_t \quad (10)$$

onde Φ representa o coeficiente autoregressivo do valor da série em t-1 no seu valor no período t, de forma que, se $\Phi=0$, a série é um processo de ruído branco, se $\Phi < 1$, a série apresenta um processo autoregressivo estacionário, e $\Phi=1$ caracteriza um passeio aleatório ou uma série não estacionária.

Neste estudo foi utilizado o teste de Dickey-Fuller aumentado, assente na estimação da regressão:

$$\Delta y_t = \mu + \delta y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta y_{t-i} + \epsilon_t, \quad (11)$$

que consiste na inclusão na regressão de vários termos desfasados das primeiras diferenças para absorver a correlação em série do termo do erro. Neste processo, é feito o teste da hipótese nula de existência de raiz unitária, que consiste em $H_0: \delta = 0$, em relação a hipótese alternativa de que não existe raiz unitária em y_t , $H_a: \delta < 0$. Quanto mais negativo for o valor da estatística do teste, mais forte é a indicação da rejeição da hipótese nula, aceitando-se a hipótese alternativa que a série não comporta uma raiz unitária e que a série é estacionária.

Além do teste de Dickey-Fuller aumentado, foram também utilizados os testes de Phillips-Perron, que pode ser tratado como uma generalização do primeiro para os casos em que os erros estão correlacionados, e de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin, usado para testar a hipótese nula de que uma série é estacionária em torno de uma tendência determinística.

Seguindo o procedimento utilizado por Henriques & Sadorsky (2008), e com o objetivo de reduzir a heterocedasticidade das séries, os valores originais destas foram convertidos nos seus respetivos logaritmos naturais, cuja notação passou a ser LNSOLAR, LNWIND, LNTECH e LNOIL, seguindo a mesma nomenclatura apresentada na figura 3 da secção 4.1.

Os valores das estatísticas dos testes de Dickey-Fuller aumentado e de Phillips-Perron, utilizando o valor do logaritmo natural de cada série, não excedem os valores críticos pelo que a hipótese nula de existência de uma raiz unitária não pode ser rejeitada. Para tornar as séries estacionárias, estas foram transformadas nas primeiras diferenças dos logaritmos,

$$\Delta \ln Y_t \equiv \ln Y_t - \ln Y_{t-1}, \quad (12)$$

passando estas a representar as taxas de variação das séries. Se a utilização das primeiras diferenças não resultarem em séries com média, variância e covariância constantes, utilizam-se as segundas diferenças, baseadas nas primeiras diferenças.

Na tabela 5, apresentam-se os resultados dos testes de raízes unitárias das séries LNSOLAR, LNWIND, LNTECH, LNOIL e LNRATE, para os valores em nível e para as primeiras diferenças de cada série, de acordo com os seguintes testes:

- teste de Dickey-Fuller-Aumentado (DF-A), utilizando o *Schwarz Info Criterion* para determinação do número de defasamentos (lags), para a hipótese nula de que a série possui uma raiz unitária.
- teste de Phillips-Perron (PP) baseado no método de estimação de Bartlett Kernel e seleção automática de *bandwidth* de Newey–West (NWBW), para a hipótese nula de que a série possui uma raiz unitária.
- teste de Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS), baseado no método de estimação de Bartlett Kernel e seleção automática de *bandwidth* de Newey–West (NWBW), para a hipótese nula de que a série é estacionária.

Tabela 5. Testes de Raízes Unitárias (DF-A, PP e KPSS) para as series temporais.

| | Nível | | | Primeira Diferença | | |
|---------|-------------|-------------|---------------|--------------------|-----------------|-------------|
| | DF-A (lags) | PP (NWBW) | KPSS (NWBW) | DF-A (lags) | PP (NWBW) | KPSS (NWBW) |
| LNOIL | -2.039 (0) | -2.320 (10) | 1.803 (18)*** | -22.971 (0)*** | -23.105 (9)*** | 0.057 (10) |
| LNSOLAR | -1.651 (0) | -1.694 (4) | 0.492 (18)** | -24.721 (0)*** | -24.731 (3)*** | 0.652 (3)** |
| LNWIND | -0.694 (0) | -0.760 (5) | 1.859 (18)*** | -24.397 (0)*** | -24.408 (5)*** | 0.404 (4)* |
| LNTECH | -0.124 (0) | 0.170 (16) | 3.183 (18)*** | -26.448 (0)*** | -27.169 (14)*** | 0.068 (16) |
| LNRATE | -1.534 (1) | -1.875 (9) | 1.267 (18)*** | -27.869 (0)*** | -27.872 (2)*** | 0.181 (12) |

***, ** e * representam significância dos testes estatísticos ao nível de 1%, 5% e 10%, respetivamente. O valor entre parenteses representa o número de defasamentos utilizado na regressão, de acordo com o critério de seleção indicado.

Na tabela 5, os resultados dos três testes de raízes unitárias, utilizando os níveis das séries, mostram que não há significância suficiente para afirmar que as séries não possuem raízes unitárias, assim, no sentido de obter estacionariedade, aplicam-se os testes às primeiras diferenças. Utilizando as primeiras diferenças, as estatísticas dos testes são estatisticamente significativas ao nível de 1% para as séries LNOIL, LNTECH e LNRATE, permitindo rejeitar as hipóteses nulas dos testes de Dickey-Fuller e Phillips-Perron e aceitar a hipótese nula do teste KPSS. No entanto, a estatística do teste de KPSS rejeita a possibilidade de integração

de ordem 1 para as séries LNSOLAR e LNWIND, ao nível de 5 e 10%, respetivamente. Se tomássemos apenas como critério de decisão o teste KPSS, os resultados destas duas séries implicariam a necessidade de utilizar as segundas diferenças a fim de ser possível aceitar a hipótese nula de que as séries são estacionárias. As estatísticas do teste KPSS nas segundas diferenças apresentam os valores de 0.086 para SOLAR e 0.038 para WIND, ou seja, pode afirmar-se que a hipótese de estacionariedade destas séries deve ser aceite, uma vez que os resultados são menores que o valor crítico de 0.347, que representa 10% de significância no teste KPSS.

4.3.2. Escolha do número de defasamentos

A escolha do número de defasamentos na estimação dos modelos VAR é uma etapa fundamental porque, neste modelo, o processo gerador do valor das variáveis dependentes é em função dos seus próprios defasamentos e dos defasamentos de todas as outras variáveis incluídas no modelo. É possível construir diferentes modelos através de experiências com várias dimensões de defasamentos, com o objetivo de garantir que as análises realizadas são consistentes (Fernandes, 2014).

O software EViews tem a funcionalidade de indicar qual a dimensão ótima de defasamentos considerando os níveis de integração necessários, e segundo diferentes critérios. A tabela 6 mostra o número de defasamentos selecionado segundo os seguintes critérios:

- LR: *Sequential Modified Likelihood-Ratio Test Statistic* (cada teste ao nível de 5%)
- FPE: *Akaike's Final Prediction Error*
- AIC: *Akaike Information Criterion*
- SC: *Schwarz Information Criterion*
- HQ: *Hannan–Quinn Information Criterion*

Tabela 6. Critérios de seleção do número de defasamentos (LR, FPE, AIC, SC e HQ).

| Defasamento | LR | FPE | AIC | SC | HQ |
|-------------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| 0 | NA | 4.89E-13 | -14.15769 | -14.11894 | -14.14256 |
| 1 | 635.2217 | 1.69E-13 | -15.21885 | -14.98636 | -15.12805 |
| 2 | 198.0129 | 1.29E-13 | -15.49124 | -15.06501* | -15.32478 |
| 3 | 97.67028 | 1.18E-13 | -15.58184 | -14.96186 | -15.33972 |
| 4 | 102.1649 | 1.06E-13 | -15.68249 | -14.86876 | -15.36470* |

| | | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 5 | 65.79580 | 1.03E-13* | -15.71656* | -14.70909 | -15.32311 |
| 6 | 34.81928 | 1.05E-13 | -15.69302 | -14.49181 | -15.22391 |
| 7 | 38.32415* | 1.07E-13 | -15.67683 | -14.28188 | -15.13205 |
| 8 | NA | 4.89E-13 | -14.15769 | -14.11894 | -14.14256 |

O * indica a dimensão de defasamentos selecionada pelo critério, com base em 600 observações semanais, não incluindo variáveis exógenas.

Na definição do número de defasamentos nos modelos VAR, é usual a utilização dos critérios AIC e SC, que consideram a soma dos quadrados dos resíduos, o número de observações e o número de parâmetros estimados. O critério HQ apresenta um comportamento mais moderado entre os testes AIC e SC (Fernandes, 2014), como pode ser observado nos resultados obtidos a partir da tabela 6, onde SC, HQ e AIC indicam, respetivamente, 2, 4 e 5 defasamentos. Para definição de qual o melhor critério, foi observada a relevância da indicação de não correlação entre as séries dos resíduos para cada defasamento de acordo com um teste de autocorrelação baseado nos multiplicadores de Lagrange (LM Test Autocorrelation) disponível no software EViews. Optou-se por utilizar 4 defasamentos, seguindo o sugerido pelo critério de Hannan–Quinn, que tem um comportamento mais moderado face aos critérios AIC e SC. A utilização de 4 defasamentos no modelo apresenta um *p-value* de 0.4856 (tabela 7), permitindo a aceitação da hipótese nula de que não existe correlação em série nos resíduos (*p-value* > 0.05).

Tabela 7. Tabela de autocorrelação para os dados semanais

| Desfasamento | $\rho(k)$ |
|--------------|-----------|
| k=1 | 0.0000 |
| k=2 | 0.0000 |
| k=3 | 0.0000 |
| k=4 | 0.4846 |
| k=5 | 0.0009 |
| k=6 | 0.5518 |
| k=7 | 0.0148 |
| k=8 | 0.4273 |

$\rho(k)$ representa a autocorrelação entre x_t e x_{t-k}

Como já referido, a estabilidade do modelo VAR depende da caracterização das séries como estacionárias. Se o modelo não for estável, os testes realizados podem ser inválidos, bem como os desvios padrão da função de resposta ao impulso. Uma forma de verificar a estabilidade do sistema é através da análise do círculo unitário do polinómio característico do VAR, onde todas as raízes inversas do polinómio característico devem ter um módulo

menor que 1 e encontrarem-se dentro do círculo. A figura 4 mostra que não há raízes fora do círculo unitário e que o modelo satisfaz a condição de estabilidade.

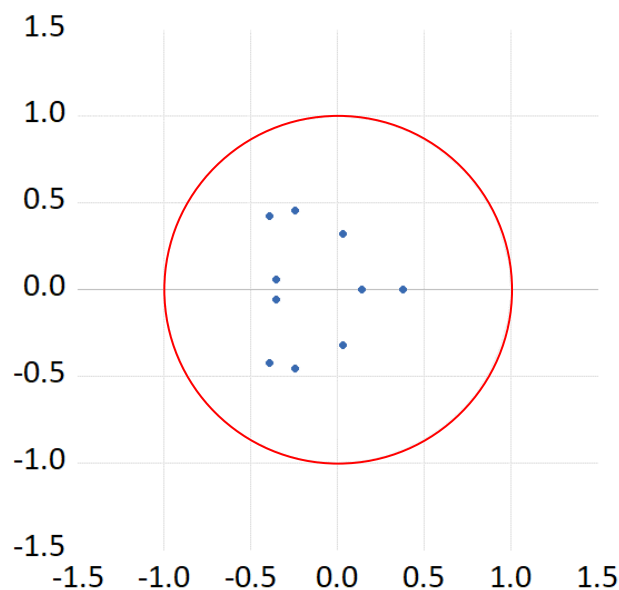


Figura 4. Raízes do Polinómio Característico do VAR.

Fonte: EViews versão 11

Esta definição está de acordo com a metodologia desenvolvida por Toda & Yamamoto (1995), que sugeriram utilizar o modelo VAR com defasamentos aumentados (LA-VAR), nos casos onde o VAR estimado é baseado nos valores originais das séries e a ordem de integração de cada série já esteja determinada. Assim, o VAR, baseado nos valores originais das séries, é estimado utilizando o número de defasamentos previamente selecionado acrescido da ordem de integração máxima observada no conjunto de variáveis do sistema.

Os resultados completos da estimação do modelo VAR com a utilização do software EViews estão descritos no Anexo II e as estatísticas de adequação do modelo são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8. Estatísticas de Adequação do Modelo VAR

| | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| R-quadrado | 0.079425 | 0.441526 | 0.463697 | 0.068855 | 0.120485 |
| R-quadrado ajustado | 0.046131 | 0.421328 | 0.444301 | 0.035179 | 0.088676 |
| Soma residual dos quadrados | 1.547534 | 2.037390 | 0.528865 | 0.316019 | 52.19986 |
| Erro Padrão da Equação | 0.052900 | 0.060698 | 0.030925 | 0.023905 | 0.307236 |
| F-test | 2.385585 | 21.85993 | 23.90666 | 2.044622 | 3.787779 |
| Log. Verossimilhança | 883.4118 | 804.4848 | 1191.559 | 1339.344 | -126.3740 |
| Akaike AIC | -3.004919 | -2.729912 | -4.078603 | -4.592533 | 0.513498 |
| Schwarz SC | -2.845677 | -2.570670 | -3.913360 | -4.434291 | 0.672741 |

| | | | | | |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| Média var. dependentes | 0.000367 | -0.000665 | -0.000417 | 0.002670 | -0.007299 |
| Desvio-padrão var. dep. | 0.054164 | 0.079792 | 0.041485 | 0.024337 | 0.321837 |

Uma das informações obtidas com a estimação do modelo são os valores para a estatística t-Student. Os testes t-Student apresentam como valor crítico, ao nível de significância de 5%, para amostras superiores a 300 observações, o valor 1.6499 (Anexo III). Porém, é prática comum nos estudos econométricos relacionadas com modelos VAR, considerar como variáveis significativas apenas aquelas que apresentam um valor da estatística t-Student superior à 2. Esta prática foi também adotada neste trabalho, ou seja, apenas as variáveis que apresentam a estatística t-Student com um valor superior 2, foram escolhidas para a composição do modelo VAR e os resultados para a estatística são apresentados na tabela 2.

As linhas correspondem às variáveis explicativas e as colunas correspondem às variáveis dependentes. A série SOLAR apresenta um efeito positivo e significativo na série WIND, a série TECH apresenta um efeito significativo e negativo nas séries SOLAR, WIND e positivo nas séries OIL e RATE, estes com 4 e 3 defasamentos, respetivamente. Por sua vez a série OIL apresenta efeito positivo na série TECH e os valores defasados de ordem 2 apresentam um impacto positivo e significativo na série WIND. A série RATE apresenta um efeito positivo e significativo nas séries SOLAR, WIND e TECH.

Tabela 9. Resultados significativos (valores de t-student) nas equações do modelo VAR com 569 observações.

| DEPEND. EXPLIC. | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|--------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| LNOIL | 2.76832 (1) | | 2.13940 (2) | 2.04207 (1) | |
| LNSOLAR | | -13.6463(1) | 2.83990 (1) | | |
| LNWIND | | | -12.9043(1) | | |
| LNTECH | 2.13761 (4) | -2.92535(1) | -4.56397 (1) | -2.36526 (1) | 2.48082 (3) |
| LNRATE | | 3.01621 (1) | 3.50580 (1) | 3.40340 (1) | -5.57118 (1) |

Nota: a tabela apresenta os valores das estatísticas t-Student, estatisticamente significativas, com valor absoluto superior a 2; os valores entre parenteses representam o defasamento onde o valor absoluto da estatística de t-Student, foi superior ao valor crítico.

4.3.3. Teste de Causalidade à Granger

O teste de causalidade proposto por Granger (1969) tem por objetivo melhorar as limitações presentes na correlação existente entre as variáveis, uma vez que a existência de uma correlação não significa necessariamente que exista uma relação de causa-efeito (causalidade) entre elas no seu sentido de endogeneidade. O teste de causalidade de Granger permite avaliar se uma ou duas variáveis se influenciam mutuamente e procura identificar se os valores históricos prévios de uma variável podem prever ou influenciar os valores presentes ou futuros de outra variável (Fernandes, 2014).

Um ponto importante na análise da relação de causalidade entre duas variáveis diz respeito à escolha do número apropriado de defasagens a ser utilizado nas regressões (Carneiro, 1996; Grøm, 2013). Apesar da escolha da dimensão das defasagens ser, de certa forma, arbitrária, uma vez que existem métodos alternativos variados para determinar o número ótimo de defasagens num modelo, a análise de causalidade pode ser bastante sensível ao número de defasagens escolhido. Davidson e MacKinnon (1993) sugerem que se procure identificar o número de defasagens antes de efetuar os testes de causalidade e Carneiro (1996) sinaliza que a escolha de mais defasagens que o necessário pode levar ao viés de incluir variáveis irrelevantes e que os testes de causalidade, embora ajudem a estabelecer uma relação de precedência temporal, podem não ser suficientes para definir o status de exogeneidade de uma variável com relação a outra.

Na análise à relação de causalidade entre duas variáveis, é feito um teste de hipótese que auxilia na aceitação ou rejeição da hipótese nula. Se a estatística do teste apresentar uma probabilidade do erro tipo 1 menor que 0.05, a hipótese nula é rejeitada e conclui-se que existe uma relação de causalidade; no caso contrário, aceita-se a hipótese nula e conclui-se que os valores defasados de uma variável não têm capacidade preditiva significativa dos valores corrente e futuros da variável dependente.

H₀: não existe relação de causalidade linear à Granger entre as variáveis;

H₁: existe relação de causalidade linear à Granger entre as variáveis.

A tabela 10 apresenta as relações de causalidade à Granger identificadas no teste realizado no software Eviews com 4 defasamentos, onde as linhas representam as variáveis explicativas e as colunas representam as variáveis dependentes. Os resultados sombreados são aqueles onde a hipótese nula é rejeitada (p-value < 0.05).

Tabela 10. Relações de Causalidade à Granger para as séries LNOIL, LNSOLAR, LNWIND, LNTECH e LNRATE.

| DEPEND. EXPLIC. | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|--------------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| LNOIL | | 0.6961 | 0.0443 | 0.0143 | 0.4887 |
| LNSOLAR | 0.3277 | | 0.0118 | 0.4420 | 0.8838 |
| LNWIND | 0.2810 | 0.4682 | | 0.0661 | 0.5102 |
| LNTECH | 0.0091 | 0.0000 | 0.0000 | | 0.0024 |
| LNRATE | 0.7933 | 0.0238 | 0.0109 | 0.0119 | |

Nota: os valores na tabela apresentam o valor da probabilidade associada ao erro tipo 1 na distribuição da estatística do teste.

Na tabela 10, observa-se que a informação contida nos preços prévios da série SOLAR tem capacidade preditiva significativa dos preços correntes e futuros da série WIND, evidenciando uma relação de causalidade unidirecional. Por sua vez a informação contida nos preços prévios da série TECH tem capacidade preditiva significativa dos valores correntes e futuros das séries SOLAR, WIND, OIL (de forma bidirecional) e RATE. A informação contida nos preços prévios da série OIL tem capacidade preditiva significativa dos preços correntes e futuros das séries WIND e TECH, observando-se uma relação de causalidade bidirecional entre esta última e o petróleo. Por último, a informação contida nos níveis prévios da taxa de juro tem capacidade preditiva significativa dos preços correntes e futuros das séries SOLAR, WIND e TECH. Entre as séries RATE e TECH observa-se também uma relação significativa de causalidade linear bidirecional. Estes resultados ajudam a reforçar a conclusão de alguns estudos, anteriormente mencionados, de que o mercado das energias renováveis é mais impactado pelo desenvolvimento tecnológico e pelas variações nas taxas de juros do que pela evolução do preço do petróleo. Os resultados sugerem também que os efeitos informacionais preditivos dos preços prévios das ações do sector tecnológico nos valores correntes e futuros do preço do petróleo e no nível da taxa de juro são mais significativos do que na relação preditiva inversa.

Da combinação das tabelas 9 ($t\text{-student} \geq 2$) e 10 (Causalidade à Granger com $p\text{-value} < 5$), que é apresentada na tabela 11, obtém-se as variáveis significativas que serão consideradas no modelo, permitindo observar que os resultados das duas tabelas são convergentes, ou seja, os resultados obtidos pela análise da estatística t-student corrobora com os resultados da avaliação da ocorrência de Causalidade à Granger.

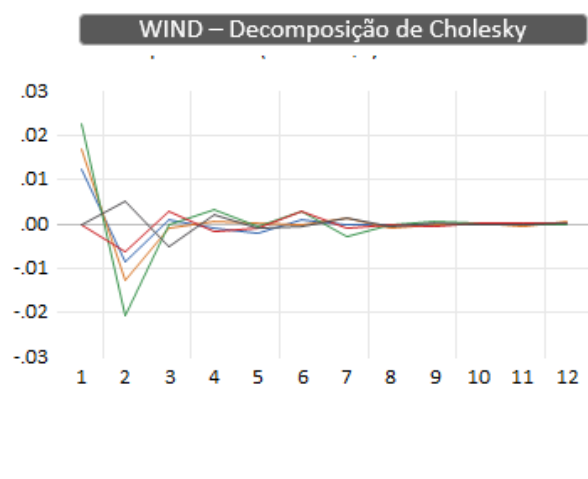
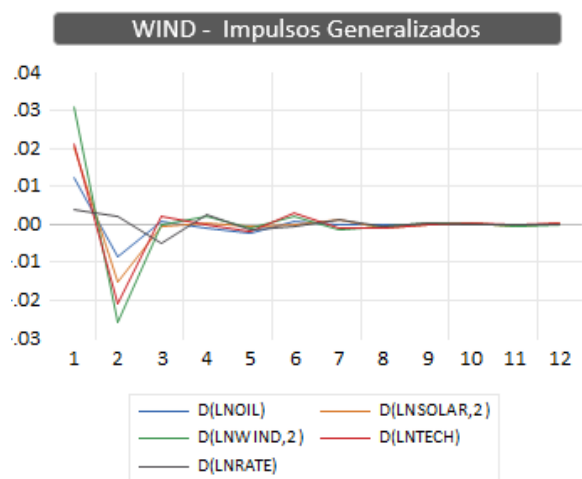
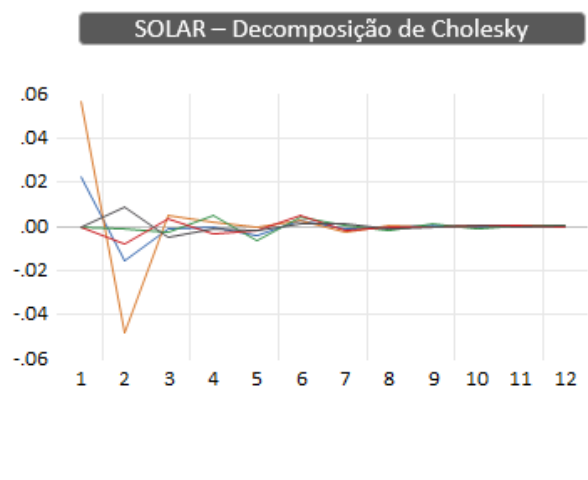
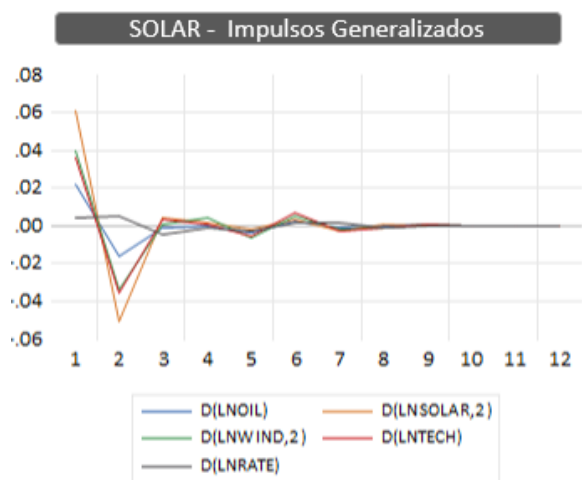
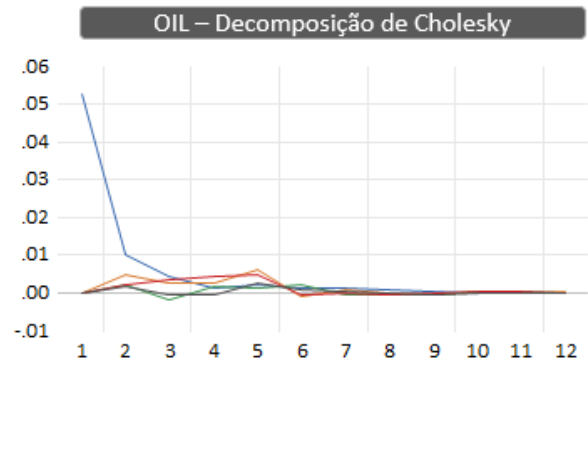
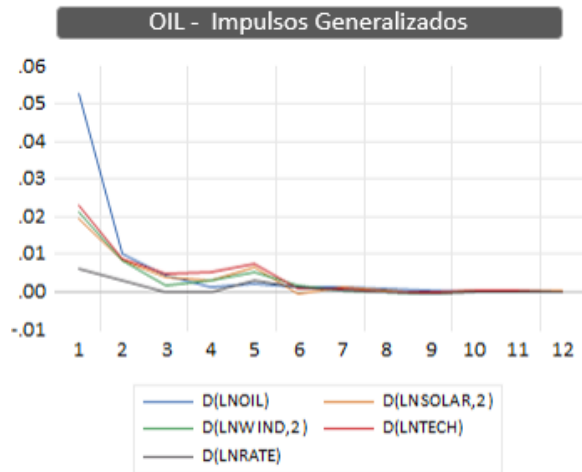
Tabela 11. Variáveis explicativas e dependentes do modelo VAR.

| DEPEND. EXPLIC. | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|--------------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| LNOIL | SIM | | SIM | SIM | |
| LNSOLAR | | SIM | SIM | | |
| LNWIND | | | SIM | | |
| LNTECH | SIM | SIM | SIM | SIM | SIM |
| LNRATE | | SIM | SIM | SIM | SIM |

4.3.4. Análise da Função de Resposta ao Impulso (FRI)

A análise das funções de resposta ao impulso permite traçar o comportamento das várias séries incluídas no VAR ao longo do tempo, que resulta de uma inovação (choque nos erros) de um desvio-padrão numa das variáveis. Por exemplo, mostra o efeito que um choque de um desvio padrão na taxa de variação do preço do petróleo tem na taxa de variação dos preços dos sectores de energia eólica, de energia solar, de tecnologia, no próprio preço do petróleo e na taxa de juro.

Nos gráficos apresentados na figura 5, o eixo horizontal representa o período, considerado como 12 semanas, uma vez que não há indícios de efeitos significativos a longo prazo, e o eixo vertical representa a variação percentual na variável resposta decorrente de um choque de um desvio-padrão numa variável do sistema. Para a avaliação das FRI de cada série, foram aplicados dois tipos de decomposição da variância, definidos como método de ortogonalização dos termos dos erros das equações do VAR, o método dos impulsos generalizados e a decomposição de Cholesky. A diferença mais acentuada entre os dois métodos de análise das FRI é notada na função resposta da série SOLAR, que é afetada por choques da série TECH nos primeiros períodos, com diferentes magnitudes em cada um dos dois métodos, e a série WIND que também apresenta diferentes dimensões de impacto causado pelos choques das séries TECH e RATE. Para as demais séries, não são notadas diferenças significativas entre os dois métodos de decomposição da variância. O Anexo IV apresenta os gráficos individualizados para cada série, segundo o método de decomposição de Cholesky.



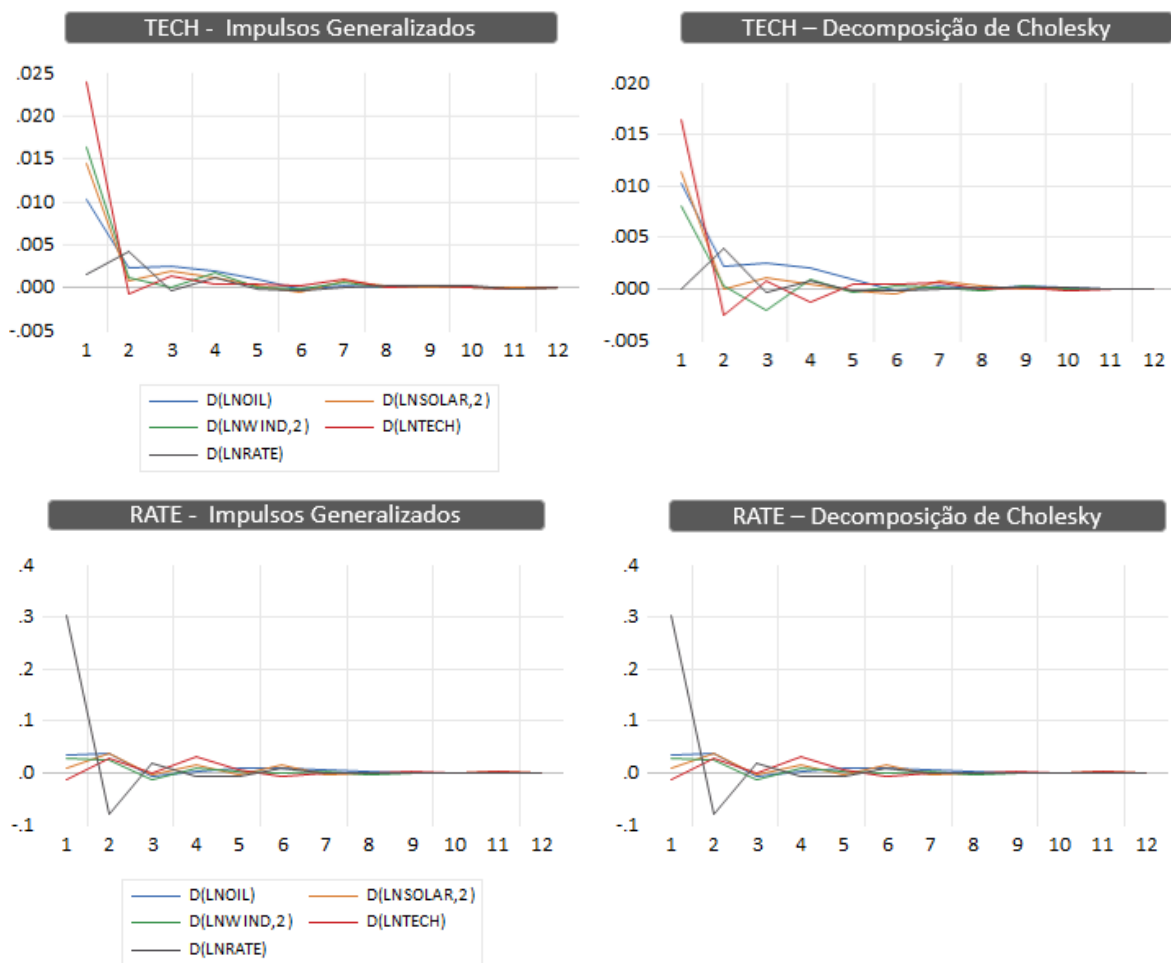


Figura 5. Funções de resposta ao impulso (FRI) com o método de decomposição de Impulsos Generalizados (à esq.) e de decomposição de Cholesky (à dir.), segundo a ordem de ortogonalização [OIL, SOLAR, WIND, TECH, RATE].

4.3.5. Decomposição da Variância

A decomposição da variância mostra a proporção da variância dos erros que, na estimação de uma variável ao longo do tempo, é devida aos choques ocorridos numa dada variável no sistema. O objetivo deste procedimento é quantificar a proporção da variância da variável dependente que pode ser explicada pelas suas próprias inovações e quanto dessa variância pode ser atribuída a choques das demais variáveis do sistema.

A partir da tabela 12 é possível observar que, ao fim de 3 meses (12 períodos), à série OIL corresponde à 11.61% da variância de SOLAR, 13.13% de WIND e quase 20% da variância de TECH. A variância da série OIL sofre impacto de forma praticamente exclusiva da própria série (94%) e a série SOLAR contribui para 6% da variância da série WIND, porém este impacto não ocorre com a mesma significância no caminho inverso (1.15%). Da tabela

12 conclui-se ainda que os movimentos na série TECH têm um impacto mais significativo na variância das séries das renováveis do que aquele causado por variações no preço do petróleo, principalmente na energia eólica, que tem quase 39% da sua variância devida às variações na série TECH, ou seja, a série TECH apresenta um efeito na série WIND na mesma proporção que o histórico da própria série (38.77%). O impacto da série TECH na variância da série SOLAR é de 30%, o que mostra que para ambas as séries de energia renovável, o impacto causado nas variâncias pela série TECH é cerca de três vezes maior que o impacto causado pela série OIL. Os resultados completos estão disponíveis no Anexo V.

Estes resultados são consistentes com a hipótese de que as ações de empresas de energia renovável estão mais relacionadas com as mudanças no mercado tecnológico do que com a volatilidade do mercado do petróleo. Porém, é importante destacar que, nas análises à decomposição da variância de uma variável, a ordem de inserção das séries modifica os resultados obtidos e que, assim, alterações nessa ordem resultam em diferentes resultados. Para esta análise, foi utilizada a seguinte ordem de decomposição: OIL, TECH, RATE, SOLAR e WIND.

Tabela 12. Decomposição das variâncias (%) para as séries LNSOLAR, LNWIND, LNTECH, LNRATE e LNOIL.

| Decomposição da Variância (%) LNSOLAR | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Períodos | Erro Padrão | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
| 1 | 0.052 | 13.31 | 62.35 | 0.00 | 24.27 | 0.05 |
| 4 | 0.050 | 11.47 | 56.73 | 0.72 | 29.74 | 1.32 |
| 8 | 0.055 | 11.61 | 55.72 | 1.12 | 30.09 | 1.43 |
| 12 | 0.055 | 11.61 | 55.70 | 1.15 | 30.08 | 1.43 |

| Decomposição da Variância (%) LNWIND | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Períodos | Erro Padrão | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
| 1 | 0.060 | 16.18 | 8.54 | 42.61 | 32.09 | 0.56 |
| 4 | 0.080 | 13.11 | 5.55 | 39.23 | 39.11 | 2.96 |
| 8 | 0.081 | 13.14 | 6.05 | 38.76 | 38.95 | 3.07 |
| 12 | 0.081 | 13.13 | 6.07 | 38.77 | 38.93 | 3.08 |

| Decomposição da Variância (%) LNTECH | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| Períodos | Erro Padrão | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
| 1 | 0.030 | 18.63 | 0.00 | 0.00 | 81.36 | 0.00 |
| 4 | 0.041 | 19.70 | 0.45 | 1.20 | 75.74 | 2.89 |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|------|------|-------|------|
| 8 | 0.042 | 19.77 | 0.57 | 1.23 | 75.50 | 2.90 |
| 12 | 0.042 | 19.78 | 0.57 | 1.24 | 75.48 | 2.90 |

Decomposição da Variância (%) LNRATE

| Períodos | Erro Padrão | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|----------|-------------|-------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.023 | 1.33 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 98.63 |
| 4 | 0.024 | 2.55 | 0.27 | 0.53 | 3.58 | 93.06 |
| 8 | 0.024 | 2.69 | 0.54 | 0.54 | 3.58 | 92.62 |
| 12 | 0.024 | 2.69 | 0.54 | 0.54 | 3.59 | 92.61 |

Decomposição da Variância (%) LNOIL

| Períodos | Erro Padrão | LNOIL | LNSOLAR | LNWIND | LNTECH | LNRATE |
|----------|-------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| 1 | 0.307 | 100.00 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4 | 0.326 | 97.13 | 0.25 | 0.37 | 2.08 | 0.15 |
| 8 | 0.327 | 94.75 | 0.53 | 0.58 | 3.69 | 0.43 |
| 12 | 0.327 | 94.71 | 0.54 | 0.59 | 3.71 | 0.43 |

5. Conclusões

5.1. Discussão dos Resultados e Limitações

Os resultados obtidos são consistentes com os principais resultados da literatura, apresentando evidências de que as influências da variação semanal nos preços do petróleo nas ações de empresas de energias renováveis, nomeadamente a solar e a eólica, vem enfraquecendo nos últimos anos. Podem ser levantadas algumas explicações possíveis para este fenómeno, uma delas é o distanciamento dos mercados, uma vez que as empresas exploradoras de energias renováveis apresentam uma tendência de aproximação maior com o sector das tecnologias, sejam elas relacionadas às energias renováveis ou não, conforme sinalizado por Sadorsky (2012), Managi & Okimoto (2013), Ahmad (2017) e Bondia et al. (2016). As evidências encontradas por Inchauspe *et al.* (2015) apontam que, além de todos esses fatores, uma outra possível explicação para esta proximidade é o fato de que empresas de tecnologia e empresas ligadas às energias renováveis costumam disputar os mesmos recursos, que vão desde engenheiros e pesquisadores, a semicondutores e circuitos integrados.

Grande parte dos custos de produção das energias renováveis advêm das tecnologias aplicadas ao processo e o avanço tecnológico tem proporcionado reduções drásticas nos custos dos insumos do processo de produção (devido a equipamentos e sistemas mais modernos e eficientes) e também gerado aumento na eficiência dos processos de exploração de energias renováveis, que tem como um exemplo a expansão da implementação de *smart grids* e *microgrids* e o desenvolvimento das tecnologias relacionadas à mobilidade elétrica (transporte). Assim, com a redução das necessidades de investimento em equipamentos e nos custos totais das redes de energia, a competitividade do sector aumenta.

Embora, *a priori*, o petróleo e as energias renováveis possam ser vistas como produtos substitutos, uma parcela muito baixa da produção de energia provém do consumo do petróleo como matéria-prima, de forma que outros combustíveis fósseis (i.e., carvão e gás natural) podem de facto, apresentar esta característica de substituição como fonte para produção de energia elétrica. A proporção da produção mundial de petróleo que é destinada à produção de energia é bastante inferior à que é destinada a outros fins e o preço final da eletricidade depende de muitos outros fatores para além, exclusivamente, dos custos de produção alocados aos combustíveis. Além disso, é importante considerar que a relação económica entre as variações nos preços do petróleo e as energias renováveis pode apresentar padrões diferentes de acordo com a geografia da análise, uma vez que, por

exemplo, o aumento do preço do carbono na união europeia serve como um fator de incentivo para a descarbonização das economias do bloco, enquanto esta tendência não é observada com a mesma intensidade nos países do sul global. Dados da OPEP (2020) mostram que a população global deverá aumentar em 1.7 mil milhões até 2045, chegando a 9.5 mil milhões de habitantes, com quase 96% dessa projeção de crescimento prevista em regiões fora da OCDE. Essa disparidade tende a causar impactos nas projeções económicas concebidas considerando períodos de tempo mais longos, resultando na necessidade da elaboração de modelos possivelmente mais complexos.

A aplicação do modelo de Fama-French de 3 fatores de risco em três especificações distintas, com os resultados apresentados na secção 4.2., auxilia no entendimento do comportamento das séries frente a variações no preço do petróleo. Pelos resultados, percebe-se que o prémio de risco associado ao mercado é positivo e estatisticamente relevante para as três séries (SOLAR, WIND e TECH) em todos os cenários analisados. O fator valor da empresa tem impacto negativo para os mercados de energia solar e tecnologia, enquanto o fator dimensão da empresa não é significativo para explicar os efeitos em nenhum dos três mercados.

Os resultados obtidos pelo modelo adotado neste estudo estão intrinsecamente relacionados às premissas adotadas, como a análise apenas das energias solar e eólica e a utilização de um modelo VAR sem definição hipotética de endogeneidade ou exogeneidade das variáveis do modelo. Uma outra limitação presente na utilização deste tipo de modelo é a importância da dimensão de defasagens escolhida, já que os resultados têm elevada sensibilidade a esta escolha, como sinalizado por Carneiro (1996). Além disso, a opção por adotar um modelo de baixa complexidade, apesar de facilitar o desenvolvimento de um estudo empírico, tende a resultar na ocorrência de problemas de desenvolvimento teórico no trabalho, nomeadamente a desconsideração de fatores macroeconómicos que causam grande impacto nos mercados acionistas, como a ocorrência de crises financeiras, variações nas taxas de consumo, desemprego e inflação, entre outros.

É importante ressaltar que a adoção de diferentes premissas possivelmente resultaria em diferentes achados, sendo estas diferenças alguns dos motivos das divergências de conclusões encontradas na literatura. O tratamento dos dados, nomeadamente as observações semanais de cada série histórica, também gera influências nos resultados. A utilização dos logaritmos naturais para redução dos ruídos pode também amenizar comportamentos de discrepância que são percebidos com menor intensidade do que seriam se fossem utilizados os valores reais. Além disso, na etapa de decomposição da variância dos erros do modelo estimado, a ordem de inclusão das variáveis tem impacto nos resultados, o

que significa que a escolha de uma ordem de decomposição diferente resultaria em diferentes proporções para a explicação da influência que as variáveis explicativas exercem sobre as variáveis dependentes.

5.2. Sugestões de Trabalhos Futuros

DeGiannakis *et al.* (2018) aponta que um caminho de estudo relevante para a literatura seria a investigação de como o desenvolvimento de previsões para o preço do petróleo e sua volatilidade podem ter grande utilidade para as empresas do sector, para os reguladores e decisores políticos, etc. Ainda são muito incipientes os estudos que analisam as possibilidades de efeitos assimétricos de variações positivas e negativas nos preços do petróleo nos mercados de energia. Também existe uma gama de possibilidades no âmbito de estudos com maiores aprofundamentos dos resultados de cenários adversos ou extremos nas relações do petróleo e as energias renováveis, como as grandes crises financeiras ou, por exemplo, os efeitos que serão causados a longo prazo nos mercados acionistas pela pandemia COVID-19, que ainda mostra seus efeitos nas economias locais e globais.

A abordagem adotada por Inchauspe *et al.* (2015), que utiliza coeficientes variáveis no tempo dos fatores explicativos, também é uma linha de estudo que tende a ganhar espaço na literatura, pois conseguiria adotar a adaptação dos coeficientes à realidade temporal das séries históricas, que são naturalmente estruturas variáveis no tempo. Para este estudo, uma possibilidade interessante de trabalho futuro seria o comparativo dos resultados obtidos, aqui mais focados no mercado americano, com os resultados obtidos por um modelo semelhante adaptado à realidade europeia ou, mais especificamente, à conjuntura portuguesa no âmbito das energias renováveis.

Referências

- Ahmad, M. (2017). *Operation and control of renewable energy systems* (1^a. ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Arouri, M. E. H. & Rault, C. (2012). Oil prices and stock markets in GCC countries: empirical evidence from panel analysis. *International Journal of Finance & Economics*, 17(3), 242-253.
- Baruník, J., & Křehlík, T. (2018). Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk. *Journal of Financial Econometrics*, 16(2), 271-296.
- Bloomberg. (s.d.(a)) TAN:US Invesco Solar ETF. Consultado em 14/02/2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/quote/TAN:US>.
- Bloomberg. (s.d.(b)) FAN:US First Trust Global Wind Energy ETF. Consultado em 14/02/2021. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/quote/FAN:US>.
- Bondia, R., Ghosh, S. & Kanjilal, K. (2016). International crude oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies: Evidence from non-linear cointegration tests with unknown structural breaks. *Energy*, 101, 558-565.
- Bourcet, C. (2020). Empirical determinants of renewable energy deployment: A systematic literature review. *Energy Economics*, 85, 104563.
- Brito, R. D. & Murakoshi, V. Y. (2009). Fatores comuns de risco de mercado, tamanho, valor e diferenciais de juros nos retornos esperados das ações brasileiras. *Inspere Working Paper*, Insper Instituto de Ensino e Pesquisa.
- Broadstock, D. C., Cao, H. & Zhang, D. (2012). Oil shocks and their impact on energy related stocks in China. *Energy Economics*, 34(6), 1888-1895.
- Brooks, C. (2002). *Introductory econometrics for finance*. (1^a. ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Carneiro, F. G. (1996). *A Metodologia dos Testes de Causalidade em Economia*. Departamento de Economia da Universidade de Brasília, Brasília. Consultado em: 25/05/2021. Disponível em: <https://www.angelfire.com/id/SergioDaSilva/causal.pdf>.
- Cheon, A., & Urpelainen, J. (2012). Oil prices and energy technology innovation: An empirical analysis. *Global Environmental Change*, 22(2), 407-417.

- Clean Edge. (s.d.). ISE Clean Edge Global Wind Energy Index (GWE). Consultado 08/05/2021. Disponível em: <https://cleanedge.com/indexes/stock-index/gwe>.
- CME. (2017). Welcome to NYMEX WTI Light Sweet Crude Oil Futures. Consultado em 14/02/2021. Disponível em: <https://www.cmegroup.com/trading/why-futures/welcome-to-nymex-wti-light-sweet-crude-oil-futures.html>.
- Davidson, R. & MacKinnon, J.G. (1993). *Estimation and Inference in Econometrics*. Oxford: Oxford University Press.
- Degiannakis, S., Filis, G. & Arora, V. (2018). Oil Prices and Stock Markets: A Review of the Theory and Empirical Evidence. *The Energy Journal*, 5(39), 85-130.
- Dogan, E. (2016). Analyzing the linkage between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth by considering structural break in time-series data. *Renewable Energy*, 99, 1126-1136.
- Dominioni, G., Romano, A., & Sotis, C. (2019). A quantitative study of the interactions between oil price and renewable energy sources stock prices. *Energies*, 12(9), 1693.
- Elyasiani, E., Mansur, I. & Odusami, B. (2011). Oil price shocks and industry stock returns, *Energy Economics*, 33(5), 966-974.
- Engle, R. & Kroner, K. F. (1995). Multivariate Simultaneous Generalized ARCH, *Econometric Theory*, 11(1), 122-150.
- Engle, R. (2002). New frontiers for arch models. *Journal of Applied Econometrics (Special Issue: Modelling and Forecasting Financial Volatility)*. 17(5), 425-446.
- Fama, E. F. & French, K. R. (1992). The Cross-Section of Expected Stock Returns. *Journal of Finance*. 47, 427-465.
- Fama, E. F. & French, K. R. (2014). A five-factor asset pricing model, *Journal of Financial Economics*. 116(1), 1-22.
- Fernandes, T. C. (2014). *A Relação de Causalidade entre a Rendibilidade do Preço do Crude e a Rendibilidade dos Principais Índices Acionistas Europeus (Dissertação de Mestrado)*. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa.

- Ferrer, R., Shahzad, S. J. H., López, R., & Jareño, F. (2018). Time and frequency dynamics of connectedness between renewable energy stocks and crude oil prices. *Energy Economics*, 76, 1-20.
- First Trust. (s.d.). First Trust Global Wind Energy ETF (FAN). Consultado em: 08/05/2021. Disponível em: <https://www.ftportfolios.com/Retail/Etf/EtfSummary.aspx?Ticker=FAN>.
- French, K. R. (s.d.). Current Research Returns. Consultado em: 02/07/2021. Disponível em: https://mba.tuck.dartmouth.edu/pages/faculty/ken.french/data_library.html.
- Ghenai, C., Albawab, M., & Bettayeb, M. (2020). Sustainability indicators for renewable energy systems using multi-criteria decision-making model and extended SWARA/ARAS hybrid method. *Renewable Energy*, 146, 580-597.
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3), 424-438.
- Grøm, H. A. (2013). *The relationship between renewable energy assets and crude oil prices: an empirical analysis with emphasis on the effects of the financial crisis* (Master's thesis). Norwegian School of Economics, Bergen.
- Henriques, I. & Sadorsky, P. (2008). Oil prices and the stock prices of alternative energy companies. *Energy Economics*, 30(3), 998-1010.
- IEA, 2017. *World Energy Outlook 2017*. International Energy Agency, London. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017>.
- IEA, 2019. Market analysis and forecast from 2019 to 2024. International Energy Agency. Consultado em 05/12/2020. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables>.
- IEA, 2020. *World Energy Outlook 2020*. International Energy Agency, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- Inchauspe, J., Ripple, R. D., & Trück, S. (2015). The dynamics of returns on renewable energy companies: A state-space approach. *Energy Economics*, 48, 325-335.
- Invesco. (2021). Invesco Solar ETF. Consultado em: 08/05/2021. Disponível em: <https://www.invesco.com/us/financial-products/etfs/product-detail?audienceType=Investor&ticker=TAN>.

- IRENA. (2019), *Renewable Power Generation Costs in 2018*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
- Kilian, L. & Vigfusson, R. J. (2011). Are the responses of the US economy asymmetric in energy price increases and decreases? *Quantitative Economics*, 2(3), 419–453.
- Kumar, S., Managi, S., & Matsuda, A. (2012). Stock prices of clean energy firms, oil and carbon markets: A vector autoregressive analysis. *Energy Economics*, 34(1), 215-226.
- Kyritsis, E., & Serletis, A. (2019). Oil prices and the renewable energy sector. *The Energy Journal*, 40.
- Lee, D., & Baek, J. (2018). Stock prices of renewable energy firms: Are there asymmetric responses to oil price changes? *Economies*, 6(4), 59.
- Leung, D. Y., Caramanna, G., & Maroto-Valer, M. M. (2014). An overview of current status of carbon dioxide capture and storage technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 426-443.
- Lutkepohl, H. (2005). *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. New York: Springer.
- MAC Solar Index (s.d.). MAC Global Solar Energy Index. Consultado em 08/05/2021. Disponível em: <https://macsolarindex.com/>.
- Managi, S. & Okimoto, T. (2013). Does the price of oil interact with clean energy prices in the stock market?. *Japan and the World Economy*, 27, 1-9.
- Mork, K. A. (1989). Oil and the macroeconomy when prices go up and down: an extension of Hamilton's results. *Journal of political Economy*, 97(3), 740-744.
- Morningstar, 2021. Nationwide NYSE Arca Tech 100 Idx A. Consultado em 28/06/2021. Disponível em: <https://www.morningstar.com/funds/xnas/nwjcx/quote>.
- Nasdaq Investment Intelligence. (2021). The ISE Clean Edge Global Wind Energy Index. NASDAQ. Consultado em 17/05/2021. Disponível em: <https://www.nasdaq.com/articles/the-ise-clean-edge-global-wind-energy-index-2021-03-16>.

- NYSE. (s.d.). NYSE ARCA TECH 100 INDEX PSE. Consultado em 08/05/2021. Disponível em: <https://www.nyse.com/quote/index/PSE>.
- OPEP. (2020). World Oil Outlook 2045. Organization of the Petroleum Exporting Countries, Vienna. Disponível em: <https://wo.opec.org/pdf-download/index.php>.
- Park, J. & Ratti, R. A. (2008). Oil price shocks and stock markets in the US and 13 European countries. *Energy economics*, 30(5), 2587-2608.
- Pesaran, M. & Shin, Y. (1998). Generalized impulse response analysis in linear multivariate models. *Economics Letters*, 58, 17-29.
- Reboredo, J. C. (2015). Is there dependence and systemic risk between oil and renewable energy stock prices?. *Energy Economics*, 48, 32-45.
- Sadorsky, P. (2001). Risk factors in stock returns of Canadian oil and gas companies. *Energy Economics*, 23(1), 17-28.
- Sadorsky, P. (2012). Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies. *Energy economics*, 34(1), 248-255.
- Schmitz, A. (2009). Effect of oil prices on returns to alternative energy investments (*Doctoral dissertation*). Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Scholtens, B. & Yurtsever, C. (2012). Oil price shocks and European industries. *Energy Economics*, 34(4), 1187-1195.
- Shah, I. H., Hiles, C., & Morley, B. (2018). How do oil prices, macroeconomic factors and policies affect the market for renewable energy?. *Applied energy*, 215, 87-97.
- Sharpe, W. F. (1964). Capital Asset Prices: A Theory Of Market Equilibrium Under Conditions Of Risk. *The Journal of Finance*, 19(3), 425-442.
- Silva, 2015. Vetores Autoregressivos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/FernandoBoeiraSabino1/vetores-autoregressivos>.
- Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 48, 1-48.
- Toda, H.Y. & Yamamoto, T., (1995). Statistical inference in vector autoregressions with partially integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66, 225-250.

- Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F. & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(9), 2263-2278.
- Wang, Y., Wu, C. & Yang, L. (2013). Oil price shocks and stock market activities: Evidence from oil-importing and oil-exporting countries. *Journal of Comparative Economics*, 41(4), 1220-1239.
- Yamada, H. & Toda, H.Y. (1998). Inference in possibly integrated vector autoregressive models: some finite sample evidence. *Journal of Econometrics*, 86, 55–95.

Anexo I – Modelo Fama-French 3 Fatores

$$R_t = \alpha + \delta OIL_t + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t$$

| Dependent Variable: SOLAR Method: Least Squares | | | | | Dependent Variable: WIND Method: Least Squares | | | | |
|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| C | -0.021133 | 0.011320 | -1.866844 | 0.0641 | C | -0.008633 | 0.006312 | -1.625096 | 0.1065 |
| OIL | 0.073629 | 0.068173 | 1.080040 | 0.2821 | OIL | 0.074121 | 0.036444 | 2.033854 | 0.0440 |
| MKT_RF | 0.015102 | 0.002363 | 6.391886 | 0.0000 | MKT_RF | 0.009682 | 0.001280 | 7.681763 | 0.0000 |
| HML | -0.005371 | 0.002592 | -2.072210 | 0.0402 | HML | -0.001716 | 0.001425 | -1.203985 | 0.2308 |
| SMB | 0.006335 | 0.004244 | 1.492608 | 0.1379 | SMB | -0.001089 | 0.001892 | -0.575623 | 0.5659 |
| R-squared | 0.365622 | Mean dependent var | -0.000752 | | R-squared | 0.499660 | Mean dependent var | 0.003434 | |
| Adjusted R-squared | 0.346398 | S.D. dependent var | 0.121852 | | Adjusted R-squared | 0.484498 | S.D. dependent var | 0.062784 | |
| S.E. of regression | 0.098512 | Akaike info criterion | -1.761468 | | S.E. of regression | 0.045063 | Akaike info criterion | -3.325682 | |
| Sum squared resid | 1.281002 | Schwarz criterion | -1.654900 | | Sum squared resid | 0.268053 | Schwarz criterion | -3.219113 | |
| Log likelihood | 125.6606 | Hannan-Quinn criter. | -1.718162 | | Log likelihood | 232.8092 | Hannan-Quinn criter. | -3.282375 | |
| F-statistic | 19.01945 | Durbin-Watson stat | 1.662949 | | F-statistic | 32.95515 | Durbin-Watson stat | 1.712701 | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 22.46836 | | Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 35.20472 | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | |
| Dependent Variable: TECH Method: Least Squares | | | | | | | | | |
| Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | | | | | |
| C | 0.000967 | 0.001106 | 0.874542 | 0.3834 | | | | | |
| OIL | 0.007102 | 0.007894 | 0.899669 | 0.3699 | | | | | |
| MKT_RF | 0.009783 | 0.000403 | 24.25241 | 0.0000 | | | | | |
| HML | -0.001685 | 0.000493 | -3.419924 | 0.0008 | | | | | |
| SMB | 0.000725 | 0.000476 | 1.522077 | 0.1304 | | | | | |
| R-squared | 0.902718 | Mean dependent var | 0.013385 | | | | | | |
| Adjusted R-squared | 0.899770 | S.D. dependent var | 0.043658 | | | | | | |
| S.E. of regression | 0.013822 | Akaike info criterion | -5.689336 | | | | | | |
| Sum squared resid | 0.025217 | Schwarz criterion | -5.582767 | | | | | | |
| Log likelihood | 394.7195 | Hannan-Quinn criter. | -5.646029 | | | | | | |
| F-statistic | 306.2203 | Durbin-Watson stat | 2.092924 | | | | | | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 231.8240 | | | | | | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | | | | | |

$$R_t = \alpha + \sum_{i=1}^2 \delta_i OIL_{t-i} + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t$$

| Dependent Variable: SOLAR Method: Least Squares | | | | | Dependent Variable: WIND Method: Least Squares | | | | |
|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| Sample: 1 135 Included observations: 135 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | Sample: 1 135 Included observations: 135 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| C | -0.022007 | 0.011417 | -1.927485 | 0.0561 | C | -0.009836 | 0.006357 | -1.835949 | 0.0687 |
| OIL_T_1 | 0.020482 | 0.043657 | 0.469146 | 0.6398 | OIL_T_1 | 0.054258 | 0.028170 | 1.926099 | 0.0563 |
| OIL_T_2 | 0.031988 | 0.068521 | 0.466844 | 0.6414 | OIL_T_2 | -0.017884 | 0.032458 | -0.551000 | 0.5826 |
| MKT_RF | 0.016381 | 0.002051 | 7.988281 | 0.0000 | MKT_RF | 0.010887 | 0.000991 | 10.98028 | 0.0000 |
| HML | -0.004659 | 0.002831 | -1.645603 | 0.1023 | HML | -0.000983 | 0.001388 | -0.708282 | 0.4800 |
| SMB | 0.006823 | 0.004277 | 1.595172 | 0.1131 | SMB | -0.000688 | 0.001878 | -0.366370 | 0.7147 |
| R-squared | 0.372856 | Mean dependent var | 0.000143 | | R-squared | 0.507490 | Mean dependent var | 0.003807 | |
| Adjusted R-squared | 0.348548 | S.D. dependent var | 0.122304 | | Adjusted R-squared | 0.488401 | S.D. dependent var | 0.063099 | |
| S.E. of regression | 0.098715 | Akaike info criterion | -1.749739 | | S.E. of regression | 0.045132 | Akaike info criterion | -3.315016 | |
| Sum squared resid | 1.257053 | Schwarz criterion | -1.620615 | | Sum squared resid | 0.262762 | Schwarz criterion | -3.185893 | |
| Log likelihood | 124.1074 | Hannan-Quinn criter. | -1.697267 | | Log likelihood | 229.7636 | Hannan-Quinn criter. | -3.262544 | |
| F-statistic | 15.33885 | Durbin-Watson stat | 1.646518 | | F-statistic | 26.58474 | Durbin-Watson stat | 1.711366 | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 18.28160 | | Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 30.46433 | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | |
| Dependent Variable: TECH Method: Least Squares | | | | | | | | | |
| Sample: 1 135 Included observations: 135 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | | | | | |
| C | 0.000337 | 0.000974 | 0.346544 | 0.7295 | | | | | |
| OIL_T_1 | 0.016288 | 0.006879 | 2.367737 | 0.0194 | | | | | |
| OIL_T_2 | -0.012536 | 0.008262 | -1.517244 | 0.1317 | | | | | |
| MKT_RF | 0.009969 | 0.000361 | 27.58140 | 0.0000 | | | | | |
| HML | -0.001691 | 0.000484 | -3.497257 | 0.0006 | | | | | |
| SMB | 0.000683 | 0.000451 | 1.514932 | 0.1322 | | | | | |
| R-squared | 0.910625 | Mean dependent var | 0.013208 | | | | | | |
| Adjusted R-squared | 0.907161 | S.D. dependent var | 0.043849 | | | | | | |
| S.E. of regression | 0.013361 | Akaike info criterion | -5.749600 | | | | | | |
| Sum squared resid | 0.023027 | Schwarz criterion | -5.620477 | | | | | | |
| Log likelihood | 394.0980 | Hannan-Quinn criter. | -5.697128 | | | | | | |
| F-statistic | 262.8704 | Durbin-Watson stat | 2.144773 | | | | | | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 224.3734 | | | | | | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | | | | | |

$$R_t = \alpha + \delta_1 OIL_t^+ + \delta_2 OIL_t^- + \beta_1 R_{m,t} + \beta_2 HML_t + \beta_3 SMB_t + \varepsilon_t$$

| Dependent Variable: SOLAR Method: Least Squares | | | | | Dependent Variable: WIND Method: Least Squares | | | | |
|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|--|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
| C | -0.011859 | 0.013114 | -0.904267 | 0.3675 | C | -0.009227 | 0.005922 | -1.558243 | 0.1216 |
| MAX | -0.051636 | 0.079061 | -0.653123 | 0.5148 | MAX | 0.082154 | 0.040632 | 2.021906 | 0.0452 |
| MIN | 0.185309 | 0.115903 | 1.598823 | 0.1123 | MIN | 0.066960 | 0.057012 | 1.174493 | 0.2423 |
| MKT_RF | 0.014911 | 0.002435 | 6.122600 | 0.0000 | MKT_RF | 0.009694 | 0.001271 | 7.629355 | 0.0000 |
| HML | -0.006642 | 0.003074 | -2.160960 | 0.0325 | HML | -0.001634 | 0.001682 | -0.971746 | 0.3330 |
| SMB | 0.006614 | 0.004346 | 1.521719 | 0.1305 | SMB | -0.001107 | 0.001901 | -0.582244 | 0.5614 |
| R-squared | 0.372855 | Mean dependent var | -0.000752 | | R-squared | 0.499772 | Mean dependent var | 0.003434 | |
| Adjusted R-squared | 0.348918 | S.D. dependent var | 0.121852 | | Adjusted R-squared | 0.480679 | S.D. dependent var | 0.062764 | |
| S.E. of regression | 0.098322 | Akaike info criterion | -1.758337 | | S.E. of regression | 0.045230 | Akaike info criterion | -3.311308 | |
| Sum squared resid | 1.266397 | Schwarz criterion | -1.630455 | | Sum squared resid | 0.267993 | Schwarz criterion | -3.183425 | |
| Log likelihood | 126.4461 | Hannan-Quinn criter. | -1.706389 | | Log likelihood | 232.8246 | Hannan-Quinn criter. | -3.259339 | |
| F-statistic | 15.57661 | Durbin-Watson stat | 1.635870 | | F-statistic | 26.17613 | Durbin-Watson stat | 1.711429 | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 16.62725 | | Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 29.07339 | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | |
| Dependent Variable: TECH Method: Least Squares | | | | | | | | | |
| Sample: 1 137 Included observations: 137 HAC standard errors & covariance (Bartlett kernel, Newey-West fixed bandwidth = 5.0000) | | | | | | | | | |
| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. | | | | | |
| C | 0.001822 | 0.001354 | 1.345619 | 0.1807 | | | | | |
| MAX | -0.004449 | 0.009808 | -0.453634 | 0.6508 | | | | | |
| MIN | 0.017400 | 0.013318 | 1.306525 | 0.1937 | | | | | |
| MKT_RF | 0.009765 | 0.000411 | 23.75367 | 0.0000 | | | | | |
| HML | -0.001802 | 0.000535 | -3.370256 | 0.0010 | | | | | |
| SMB | 0.000751 | 0.000476 | 1.575536 | 0.1175 | | | | | |
| R-squared | 0.903197 | Mean dependent var | 0.013385 | | | | | | |
| Adjusted R-squared | 0.899502 | S.D. dependent var | 0.043658 | | | | | | |
| S.E. of regression | 0.013840 | Akaike info criterion | -5.679674 | | | | | | |
| Sum squared resid | 0.025093 | Schwarz criterion | -5.551792 | | | | | | |
| Log likelihood | 395.0577 | Hannan-Quinn criter. | -5.627706 | | | | | | |
| F-statistic | 244.4632 | Durbin-Watson stat | 2.124494 | | | | | | |
| Prob(F-statistic) | 0.000000 | Wald F-statistic | 196.5380 | | | | | | |
| Prob(Wald F-statistic) | 0.000000 | | | | | | | | |

Anexo II – Estimativas do Modelo VAR

Sample (adjusted): 2/17/2010 6/30/2021
 Included observations: 574 after adjustments
 Standard errors in () & t-statistics in []

| | D(LNOIL) | D(LNSOLAR,2) | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| D(LNOIL(-1)) | 0.135131 (0.04881) [2.76832] | 0.080989 (0.05601) [1.44601] | 0.052948 (0.02854) [1.85549] | 0.045045 (0.02206) [2.04207] | 0.311403 (0.28350) [1.09842] |
| D(LNOIL(-2)) | 0.030932 (0.04702) [0.65789] | 0.011363 (0.05395) [0.21064] | 0.058803 (0.02749) [2.13940] | 0.040472 (0.02125) [1.90485] | -0.159635 (0.27307) [-0.58460] |
| D(LNOIL(-3)) | -0.045271 (0.04592) [-0.98596] | 0.000994 (0.05268) [0.01887] | 0.027184 (0.02684) [1.01277] | 0.032815 (0.02075) [1.58153] | -0.344509 (0.26667) [-1.29190] |
| D(LNOIL(-4)) | -0.036849 (0.04616) [-0.79829] | -0.006578 (0.05296) [-0.12421] | 0.000590 (0.02698) [0.02188] | 0.026699 (0.02086) [1.27996] | 0.031194 (0.26809) [0.11636] |
| D(LNSOLAR(-1),2) | 0.048156 (0.05014) [0.96036] | -0.785133 (0.05753) [-13.6463] | 0.083247 (0.02931) [2.83990] | 0.012912 (0.02266) [0.56983] | 0.164287 (0.29122) [0.56412] |
| D(LNSOLAR(-2),2) | 0.076621 (0.06336) [1.20935] | -0.523624 (0.07270) [-7.20292] | 0.097883 (0.03704) [2.64279] | 0.047601 (0.02863) [1.66260] | 0.155932 (0.36797) [0.42377] |
| D(LNSOLAR(-3),2) | 0.056184 (0.06256) [0.89813] | -0.315198 (0.07178) [-4.39132] | 0.088872 (0.03657) [2.43019] | 0.047228 (0.02827) [1.67069] | 0.031656 (0.36332) [0.08713] |
| D(LNSOLAR(-4),2) | 0.092571 (0.04854) [1.90705] | -0.105158 (0.05570) [-1.88805] | 0.079786 (0.02838) [2.81164] | 0.027667 (0.02194) [1.26129] | -0.180144 (0.28192) [-0.63899] |
| D(LNWIND(-1),2) | 0.029556 (0.10639) [0.27782] | 0.066131 (0.12207) [0.54176] | -0.802542 (0.06219) [-12.9043] | 0.046602 (0.04807) [0.96937] | 0.953959 (0.61787) [1.54395] |
| D(LNWIND(-2),2) | -0.158504 (0.13142) [-1.20612] | -0.080141 (0.15079) [-0.53148] | -0.690733 (0.07683) [-8.99099] | -0.079700 (0.05939) [-1.34206] | 0.294639 (0.76325) [0.38603] |
| D(LNWIND(-3),2) | -0.109157 (0.12867) [-0.84834] | 0.090327 (0.14764) [0.61181] | -0.428485 (0.07522) [-5.69637] | -0.003301 (0.05815) [-0.05677] | 0.059242 (0.74731) [0.07927] |
| D(LNWIND(-4),2) | -0.144090 (0.09255) [-1.55688] | 0.004688 (0.10619) [0.04415] | -0.215889 (0.05410) [-3.99024] | -0.009599 (0.04182) [-0.22950] | -0.230292 (0.53752) [-0.42844] |

| | | | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| D(LNTECH(-1)) | 0.139752 (0.13466) [1.03783] | -0.451988 (0.15451) [-2.92535] | -0.359276 (0.07872) [-4.56397] | -0.143929 (0.06085) [-2.36526] | 1.415759 (0.78207) [1.81026] |
| D(LNTECH(-2)) | 0.236325 (0.13635) [1.73326] | -0.238625 (0.15645) [-1.52529] | -0.170671 (0.07971) [-2.14122] | 0.021527 (0.06161) [0.34938] | 0.981470 (0.79188) [1.23941] |
| D(LNTECH(-3)) | 0.218139 (0.13628) [1.60066] | -0.368193 (0.15637) [-2.35464] | -0.224267 (0.07967) [-2.81500] | -0.104139 (0.06158) [-1.69100] | 1.963558 (0.79150) [2.48082] |
| D(LNTECH(-4)) | 0.291270 (0.13626) [2.13761] | -0.395891 (0.15634) [-2.53216] | -0.276728 (0.07966) [-3.47403] | -0.026832 (0.06157) [-0.43576] | 1.283473 (0.79137) [1.62183] |
| D(LNRATE(-1)) | 0.005866 (0.00819) [0.71642] | 0.028334 (0.00939) [3.01621] | 0.016779 (0.00479) [3.50580] | 0.012962 (0.00370) [3.50340] | -0.260154 (0.04755) [-5.47118] |
| D(LNRATE(-2)) | -0.004546 (0.00849) [-0.53532] | 0.018649 (0.00974) [1.91382] | 0.002833 (0.00496) [0.57063] | 0.002471 (0.00384) [0.64390] | -0.049051 (0.04932) [-0.99446] |
| D(LNRATE(-3)) | -0.004036 (0.00850) [-0.47456] | 0.006224 (0.00976) [0.63781] | 0.004805 (0.00497) [0.96641] | 0.002743 (0.00384) [0.71363] | -0.019300 (0.04939) [-0.39074] |
| D(LNRATE(-4)) | 0.004914 (0.00807) [0.60857] | -0.005252 (0.00926) [-0.56694] | 0.002015 (0.00472) [0.42697] | -0.000478 (0.00365) [-0.13100] | -0.056991 (0.04689) [-1.21532] |
| C | -0.002705 (0.00234) [-1.15829] | 0.003563 (0.00268) [1.32980] | 0.002522 (0.00137) [1.84735] | 0.003302 (0.00106) [3.12839] | -0.024913 (0.01356) [-1.83677] |
| R-squared | 0.079425 | 0.441526 | 0.463697 | 0.068855 | 0.120485 |
| Adj. R-squared | 0.046131 | 0.421328 | 0.444301 | 0.035179 | 0.088676 |
| Sum sq. resids | 1.547534 | 2.037390 | 0.528865 | 0.316019 | 52.19986 |
| S.E. equation | 0.052900 | 0.060698 | 0.030925 | 0.023905 | 0.307236 |
| F-statistic | 2.385585 | 21.85993 | 23.90666 | 2.044622 | 3.787779 |
| Log likelihood | 883.4118 | 804.4848 | 1191.559 | 1339.344 | -126.3740 |
| Akaike AIC | -3.004919 | -2.729912 | -4.078603 | -4.593533 | 0.513498 |
| Schwarz SC | -2.845677 | -2.570670 | -3.919360 | -4.434291 | 0.672741 |
| Mean dependent | 0.000367 | -0.000665 | -0.000417 | 0.002670 | -0.007299 |
| S.D. dependent | 0.054164 | 0.079792 | 0.041485 | 0.024337 | 0.321837 |
| Determinant resid covariance (dof adj.) | | 1.13E-13 | | | |
| Determinant resid covariance | | 9.41E-14 | | | |
| Log likelihood | | 4535.948 | | | |
| Akaike information criterion | | -15.43884 | | | |
| Schwarz criterion | | -14.64263 | | | |
| Number of coefficients | | 105 | | | |

Anexo III – Tabela de Distribuição t-Student

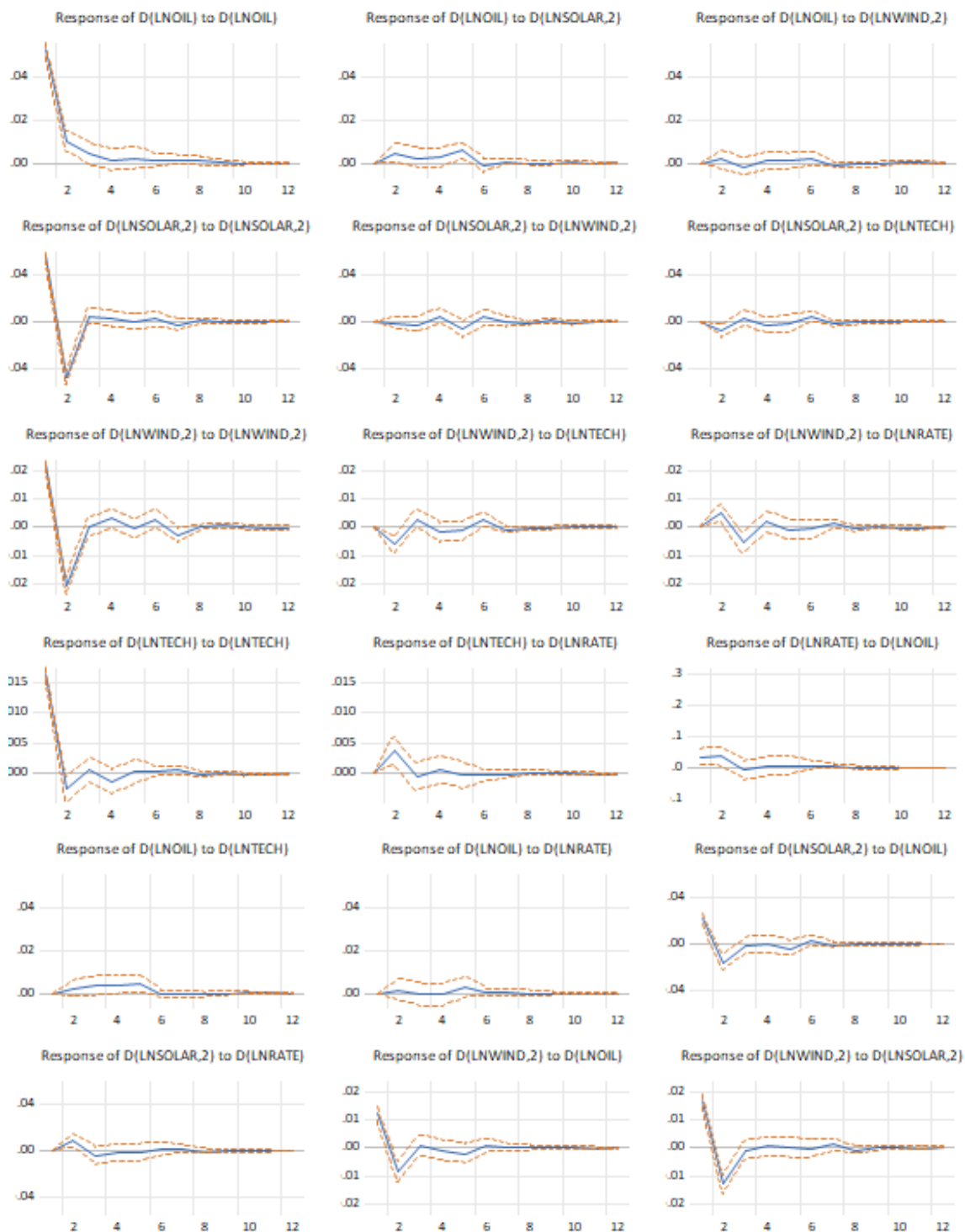
α – níveis de probabilidade

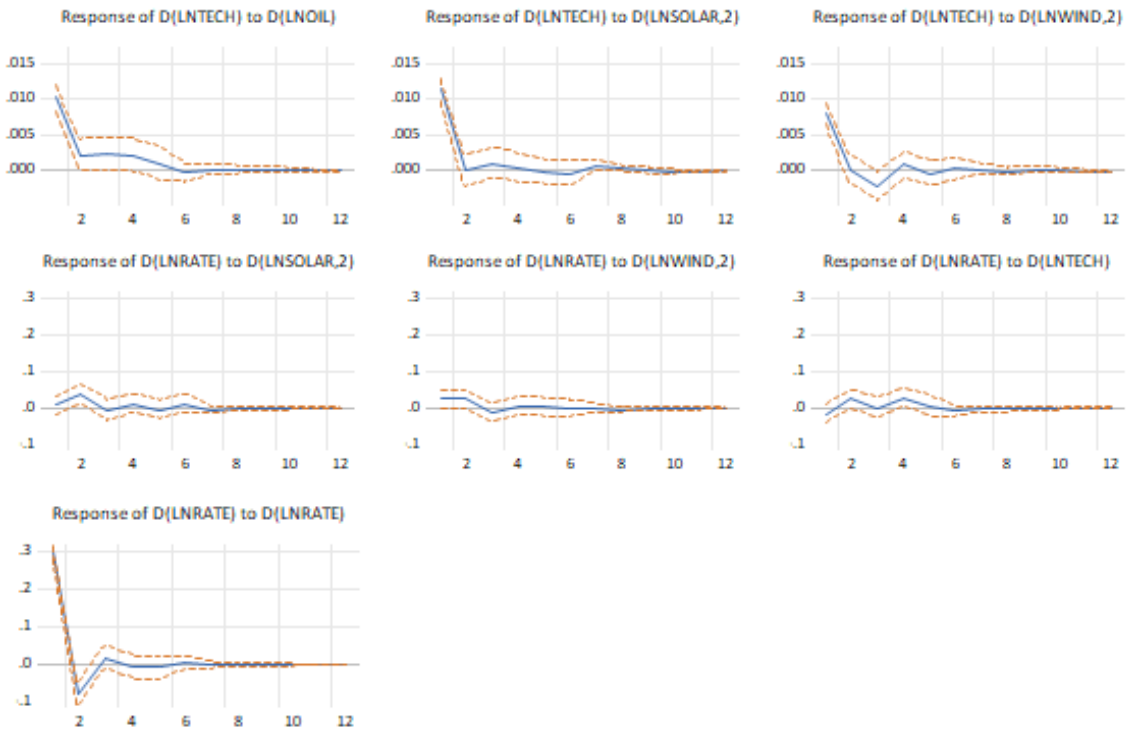
v – graus de liberdade

| α | 0.4 | 0.25 | 0.15 | 0.1 | 0.05 | 0.025 | 0.01 | 0.005 | 0.001 | 0.0005 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|----------|----------|
| v | | | | | | | | | | |
| 1 | 0.3249 | 1.0000 | 1.9626 | 3.0777 | 6.3138 | 12.7062 | 31.8205 | 63.6567 | 318.3087 | 636.6189 |
| 2 | 0.2887 | 0.8165 | 1.3862 | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027 | 6.9646 | 9.9248 | 22.3271 | 31.5991 |
| 3 | 0.2767 | 0.7649 | 1.2498 | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824 | 4.5407 | 5.8409 | 10.2145 | 12.9240 |
| 4 | 0.2707 | 0.7407 | 1.1896 | 1.5332 | 2.1318 | 2.7764 | 3.7469 | 4.6041 | 7.1732 | 8.6103 |
| 5 | 0.2672 | 0.7267 | 1.1558 | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706 | 3.3649 | 4.0321 | 5.8934 | 6.8688 |
| 6 | 0.2648 | 0.7176 | 1.1342 | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469 | 3.1427 | 3.7074 | 5.2076 | 5.9588 |
| 7 | 0.2632 | 0.7111 | 1.1192 | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646 | 2.9980 | 3.4995 | 4.7853 | 5.4079 |
| 8 | 0.2619 | 0.7064 | 1.1081 | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060 | 2.8965 | 3.3554 | 4.5008 | 5.0413 |
| 9 | 0.2610 | 0.7027 | 1.0997 | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622 | 2.8214 | 3.2498 | 4.2968 | 4.7809 |
| 10 | 0.2602 | 0.6998 | 1.0931 | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281 | 2.7638 | 3.1693 | 4.1437 | 4.5869 |
| 11 | 0.2596 | 0.6974 | 1.0877 | 1.3634 | 1.7959 | 2.2010 | 2.7181 | 3.1058 | 4.0247 | 4.4370 |
| 12 | 0.2590 | 0.6955 | 1.0832 | 1.3562 | 1.7823 | 2.1788 | 2.6810 | 3.0545 | 3.9296 | 4.3178 |
| 13 | 0.2586 | 0.6938 | 1.0795 | 1.3502 | 1.7709 | 2.1604 | 2.6503 | 3.0123 | 3.8520 | 4.2208 |
| 14 | 0.2582 | 0.6924 | 1.0763 | 1.3450 | 1.7613 | 2.1448 | 2.6245 | 2.9768 | 3.7874 | 4.1405 |
| 15 | 0.2579 | 0.6912 | 1.0735 | 1.3406 | 1.7531 | 2.1314 | 2.6025 | 2.9467 | 3.7328 | 4.0728 |
| 16 | 0.2576 | 0.6901 | 1.0711 | 1.3368 | 1.7459 | 2.1199 | 2.5835 | 2.9208 | 3.6862 | 4.0150 |
| 17 | 0.2573 | 0.6892 | 1.0690 | 1.3334 | 1.7396 | 2.1098 | 2.5669 | 2.8982 | 3.6458 | 3.9651 |
| 18 | 0.2571 | 0.6884 | 1.0672 | 1.3304 | 1.7341 | 2.1009 | 2.5524 | 2.8784 | 3.6105 | 3.9216 |
| 19 | 0.2569 | 0.6876 | 1.0655 | 1.3277 | 1.7291 | 2.0930 | 2.5395 | 2.8609 | 3.5794 | 3.8834 |
| 20 | 0.2567 | 0.6870 | 1.0640 | 1.3253 | 1.7247 | 2.0860 | 2.5280 | 2.8453 | 3.5518 | 3.8495 |
| 21 | 0.2566 | 0.6864 | 1.0627 | 1.3232 | 1.7207 | 2.0796 | 2.5176 | 2.8314 | 3.5272 | 3.8193 |
| 22 | 0.2564 | 0.6858 | 1.0614 | 1.3212 | 1.7171 | 2.0739 | 2.5083 | 2.8188 | 3.5050 | 3.7921 |
| 23 | 0.2563 | 0.6853 | 1.0603 | 1.3195 | 1.7139 | 2.0687 | 2.4999 | 2.8073 | 3.4850 | 3.7676 |
| 24 | 0.2562 | 0.6848 | 1.0593 | 1.3178 | 1.7109 | 2.0639 | 2.4922 | 2.7969 | 3.4668 | 3.7454 |
| 25 | 0.2561 | 0.6844 | 1.0584 | 1.3163 | 1.7081 | 2.0595 | 2.4851 | 2.7874 | 3.4502 | 3.7251 |
| 26 | 0.2560 | 0.6840 | 1.0575 | 1.3150 | 1.7056 | 2.0555 | 2.4786 | 2.7787 | 3.4350 | 3.7066 |
| 27 | 0.2559 | 0.6837 | 1.0567 | 1.3137 | 1.7033 | 2.0518 | 2.4727 | 2.7707 | 3.4210 | 3.6896 |
| 28 | 0.2558 | 0.6834 | 1.0560 | 1.3125 | 1.7011 | 2.0484 | 2.4671 | 2.7633 | 3.4082 | 3.6739 |
| 29 | 0.2557 | 0.6830 | 1.0553 | 1.3114 | 1.6991 | 2.0452 | 2.4620 | 2.7564 | 3.3962 | 3.6594 |
| 30 | 0.2556 | 0.6828 | 1.0547 | 1.3104 | 1.6973 | 2.0423 | 2.4573 | 2.7500 | 3.3852 | 3.6460 |
| 35 | 0.2553 | 0.6816 | 1.0520 | 1.3062 | 1.6896 | 2.0301 | 2.4377 | 2.7238 | 3.3400 | 3.5911 |
| 40 | 0.2550 | 0.6807 | 1.0500 | 1.3031 | 1.6839 | 2.0211 | 2.4233 | 2.7045 | 3.3069 | 3.5510 |
| 45 | 0.2549 | 0.6800 | 1.0485 | 1.3006 | 1.6794 | 2.0141 | 2.4121 | 2.6896 | 3.2815 | 3.5203 |
| 50 | 0.2547 | 0.6794 | 1.0473 | 1.2987 | 1.6759 | 2.0086 | 2.4033 | 2.6778 | 3.2614 | 3.4960 |
| 60 | 0.2545 | 0.6786 | 1.0455 | 1.2958 | 1.6706 | 2.0003 | 2.3901 | 2.6603 | 3.2317 | 3.4602 |
| 70 | 0.2543 | 0.6780 | 1.0442 | 1.2938 | 1.6669 | 1.9944 | 2.3808 | 2.6479 | 3.2108 | 3.4350 |
| 80 | 0.2542 | 0.6776 | 1.0432 | 1.2922 | 1.6641 | 1.9901 | 2.3739 | 2.6387 | 3.1953 | 3.4163 |
| 90 | 0.2541 | 0.6772 | 1.0424 | 1.2910 | 1.6620 | 1.9867 | 2.3685 | 2.6316 | 3.1833 | 3.4019 |
| 100 | 0.2540 | 0.6770 | 1.0418 | 1.2901 | 1.6602 | 1.9840 | 2.3642 | 2.6259 | 3.1737 | 3.3905 |
| 120 | 0.2539 | 0.6765 | 1.0409 | 1.2886 | 1.6577 | 1.9799 | 2.3578 | 2.6174 | 3.1595 | 3.3735 |
| 150 | 0.2538 | 0.6761 | 1.0400 | 1.2872 | 1.6551 | 1.9759 | 2.3515 | 2.6090 | 3.1455 | 3.3566 |
| 200 | 0.2537 | 0.6757 | 1.0391 | 1.2858 | 1.6525 | 1.9719 | 2.3451 | 2.6006 | 3.1315 | 3.3398 |
| 300 | 0.2536 | 0.6753 | 1.0382 | 1.2844 | 1.6499 | 1.9679 | 2.3388 | 2.5923 | 3.1176 | 3.3233 |
| ∞ | 0.2533 | 0.6745 | 1.0364 | 1.2816 | 1.6449 | 1.9600 | 2.3263 | 2.5758 | 3.0902 | 3.2905 |

Source: *Biometrika Tables for Statisticians* (1966), volume 1, 3rd edn. Reprinted with permission of Oxford University Press.

Anexo IV – Funções de Resposta ao Impulso (Decomposição de Cholesky)





Anexo V – Tabela de Decomposição da Variância (12 semanas)

| Variance Decomposition of D(LNSOLAR,2): | | | | | | |
|---|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Period | S.E. | D(LNOIL) | D(LNSOLA... | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
| 1 | 0.052900 | 13.31408 | 62.35953 | 0.000000 | 24.27024 | 0.056150 |
| 2 | 0.054211 | 11.65335 | 57.42457 | 0.027892 | 29.94112 | 0.953065 |
| 3 | 0.054608 | 11.54607 | 56.98926 | 0.224828 | 29.92246 | 1.317377 |
| 4 | 0.054878 | 11.47827 | 56.73255 | 0.720272 | 29.74887 | 1.320036 |
| 5 | 0.055535 | 11.61466 | 56.25402 | 1.071983 | 29.67573 | 1.383609 |
| 6 | 0.055621 | 11.63588 | 55.83456 | 1.092735 | 30.04617 | 1.390656 |
| 7 | 0.055651 | 11.62350 | 55.73388 | 1.111087 | 30.10955 | 1.421981 |
| 8 | 0.055664 | 11.61713 | 55.72247 | 1.129434 | 30.09670 | 1.434264 |
| 9 | 0.055669 | 11.61695 | 55.71497 | 1.140485 | 30.09323 | 1.434362 |
| 10 | 0.055672 | 11.61529 | 55.70860 | 1.152504 | 30.08927 | 1.434336 |
| 11 | 0.055674 | 11.61440 | 55.70942 | 1.155457 | 30.08638 | 1.434352 |
| 12 | 0.055675 | 11.61442 | 55.70943 | 1.155519 | 30.08615 | 1.434480 |

| Variance Decomposition of D(LNWIND,2): | | | | | | |
|--|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Period | S.E. | D(LNOIL) | D(LNSOLA... | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
| 1 | 0.060698 | 16.18803 | 8.542368 | 42.61007 | 32.09644 | 0.563090 |
| 2 | 0.079934 | 13.45002 | 5.489641 | 39.82679 | 40.23540 | 0.998145 |
| 3 | 0.080354 | 13.20574 | 5.599951 | 39.01777 | 39.55001 | 2.626525 |
| 4 | 0.080594 | 13.11999 | 5.554427 | 39.23962 | 39.11776 | 2.968198 |
| 5 | 0.080983 | 13.33363 | 5.575940 | 39.07443 | 38.99657 | 3.019429 |
| 6 | 0.081303 | 13.23965 | 5.825976 | 38.78315 | 39.14135 | 3.009884 |
| 7 | 0.081403 | 13.15278 | 6.039909 | 38.79803 | 38.95025 | 3.059027 |
| 8 | 0.081431 | 13.14141 | 6.059457 | 38.76578 | 38.95542 | 3.077934 |
| 9 | 0.081438 | 13.13679 | 6.057364 | 38.77881 | 38.94224 | 3.084793 |
| 10 | 0.081444 | 13.13654 | 6.057100 | 38.77730 | 38.94387 | 3.085192 |
| 11 | 0.081448 | 13.13724 | 6.063815 | 38.77245 | 38.93846 | 3.088033 |
| 12 | 0.081449 | 13.13509 | 6.072524 | 38.77094 | 38.93349 | 3.087950 |

| Variance Decomposition of D(LNTECH): | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Period | S.E. | D(LNOIL) | D(LNSOLA... | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
| 1 | 0.030925 | 18.63922 | 0.000000 | 0.000000 | 81.36078 | 0.000000 |
| 2 | 0.041015 | 18.62676 | 0.180786 | 0.147894 | 78.26044 | 2.784125 |
| 3 | 0.041458 | 19.28405 | 0.378842 | 0.940330 | 76.61234 | 2.784440 |
| 4 | 0.041687 | 19.70878 | 0.457523 | 1.202286 | 75.74110 | 2.890307 |
| 5 | 0.041776 | 19.81965 | 0.463478 | 1.235195 | 75.58236 | 2.899317 |
| 6 | 0.041987 | 19.80766 | 0.541487 | 1.234588 | 75.51129 | 2.904984 |
| 7 | 0.042126 | 19.78379 | 0.559044 | 1.234995 | 75.52195 | 2.900213 |
| 8 | 0.042144 | 19.77894 | 0.575865 | 1.238082 | 75.50362 | 2.903489 |
| 9 | 0.042152 | 19.78444 | 0.577254 | 1.241585 | 75.49222 | 2.904505 |
| 10 | 0.042153 | 19.78485 | 0.577224 | 1.242019 | 75.48887 | 2.907039 |
| 11 | 0.042156 | 19.78426 | 0.577293 | 1.242383 | 75.48770 | 2.908362 |
| 12 | 0.042160 | 19.78413 | 0.577422 | 1.242695 | 75.48719 | 2.908569 |

| Variance Decomposition of D(LNRATE): | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Period | S.E. | D(LNOIL) | D(LNSOLA... | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
| 1 | 0.023905 | 1.339262 | 0.000000 | 0.000000 | 0.027782 | 98.63296 |
| 2 | 0.024462 | 2.533721 | 0.259358 | 0.353412 | 2.486396 | 94.36711 |
| 3 | 0.024727 | 2.567050 | 0.259115 | 0.506421 | 2.521503 | 94.14591 |
| 4 | 0.024874 | 2.551189 | 0.271625 | 0.530433 | 3.584860 | 93.06189 |
| 5 | 0.024900 | 2.614796 | 0.321865 | 0.530888 | 3.588267 | 92.94418 |
| 6 | 0.024914 | 2.663219 | 0.524046 | 0.532782 | 3.580882 | 92.69907 |
| 7 | 0.024935 | 2.687759 | 0.541521 | 0.538421 | 3.582000 | 92.65030 |
| 8 | 0.024938 | 2.692561 | 0.542711 | 0.547761 | 3.587865 | 92.62910 |
| 9 | 0.024941 | 2.692523 | 0.543732 | 0.547897 | 3.590469 | 92.62538 |
| 10 | 0.024942 | 2.694521 | 0.543773 | 0.547925 | 3.590510 | 92.62327 |
| 11 | 0.024943 | 2.694781 | 0.544908 | 0.547955 | 3.597622 | 92.61473 |
| 12 | 0.024943 | 2.694794 | 0.545268 | 0.548153 | 3.597594 | 92.61419 |

| Variance Decomposition of D(LNOIL): | | | | | | |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| Period | S.E. | D(LNOIL) | D(LNSOLA... | D(LNWIND,2) | D(LNTECH) | D(LNRATE) |
| 1 | 0.307236 | 100.0000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 |
| 2 | 0.323933 | 98.78468 | 0.225678 | 0.012113 | 0.851100 | 0.126429 |
| 3 | 0.324776 | 98.04484 | 0.252688 | 0.374734 | 1.181888 | 0.145848 |
| 4 | 0.326752 | 97.13895 | 0.250214 | 0.376470 | 2.082770 | 0.151598 |
| 5 | 0.327043 | 95.03722 | 0.449831 | 0.414873 | 3.703781 | 0.394293 |
| 6 | 0.327600 | 94.80138 | 0.510992 | 0.567900 | 3.692600 | 0.427126 |
| 7 | 0.327688 | 94.76284 | 0.534694 | 0.580779 | 3.689588 | 0.432102 |
| 8 | 0.327726 | 94.75161 | 0.538245 | 0.580639 | 3.697283 | 0.432220 |
| 9 | 0.327733 | 94.73535 | 0.540543 | 0.586675 | 3.700449 | 0.436986 |
| 10 | 0.327737 | 94.72801 | 0.540807 | 0.586777 | 3.707197 | 0.437212 |
| 11 | 0.327753 | 94.72041 | 0.542438 | 0.589332 | 3.710627 | 0.437196 |
| 12 | 0.327754 | 94.71689 | 0.544284 | 0.590301 | 3.711133 | 0.437390 |

Cholesky Ordering: D(LNOIL) D(LNTECH) D(LNRATE) D(LNSOLAR,2) D(LNWIND,2)