



Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Contabilidade
e Administração de Coimbra

Alexandre Emanuel do Couto Lima

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Análise Financeira, realizada sob a orientação da Professora Doutora Carla Margarida Saraiva de Oliveira Henriques e da Professora Doutora Maria Elisabete Duarte Neves.

Coimbra, outubro de 2021

Termo de responsabilidade

Declaro ser o autor desta dissertação, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau acadêmico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação da presente dissertação.

Dedicatória

Aos que cá estão, e aos que aqui, porventura, já estiveram. Aos que me acompanham, bem como àqueles que, outrora, me acompanharam, neste que, ao mesmo tempo, é o início e o final de mais uma etapa. A todos estes, manifesto os meus mais profundos e sentidos agradecimentos, na esperança de que estes sejam calorosa e genuinamente reconhecidos a quem, e para quem, eles são direcionados.

Agradecimentos

Após uma dedicação, em termos genéricos, expresso o meu sentido de gratidão, agora, de modo mais particular e pessoal.

Aos meus pais e à minha irmã, que constituem o meu mais próximo seio familiar, por todo o apoio, carinho e motivação prestados. A sua presença, lado-a-lado, dia a dia, são o motor que me conduz, e que sempre me conduziu, em variados pontos de passagem, ao longo da minha vida.

Às minhas orientadora e coorientadora, Dra. Elisabete Neves e Dra. Carla Henriques, pela disponibilidade e pelo tempo dedicado durante todo este processo. Sem os seus conhecimentos e ideias, a presente dissertação não passaria de um mero esboço.

Aos restantes familiares e amigos, que de inúmeras e diversas formas estão presentes na minha vida.

Resumo

Este trabalho propõe um indicador global de performance dos países importadores líquidos de petróleo em termos de segurança energética, com base no uso da metodologia *Data Envelopment Analysis* (DEA). Os fatores de avaliação escolhidos para esse efeito são o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra e as reservas estratégicas de petróleo (ambos a maximizar), vistos como *outputs* controláveis; o preço *Cost Insurance and Freight* (CIF) das importações de petróleo, considerado como *input* não controlável; o peso do crude no *energy mix*, como *input* controlável; e uma adaptação do índice de *Shannon-Wiener* (como medida da diversidade dos fornecedores de petróleo de cada país importador), como *input* indesejável (considerando a racionalidade de quanto maior o seu valor, melhor). Neste contexto, foram selecionados quinze países importadores líquidos de petróleo da UE, juntamente com o Reino Unido, tendo em consideração o período que decorreu de 2013 e 2014 e de 2014 a 2019. O desempenho cada país foi avaliado através de um modelo DEA não radial e não orientado, o *Weighted Russel Directional Distance Model* (WRDDM). Por outro lado, foi também efetuada uma análise de robustez aos resultados obtidos, bem como uma análise da variação da produtividade do indicador proposto. Os resultados obtidos mostram que a Eslováquia, a República Checa e a Suécia apresentaram os melhores desempenhos, devido ao facto destes países apresentarem um peso reduzido do petróleo no *energy mix*. Em oposição, a Polónia e a Hungria obtiveram sempre os piores desempenhos, essencialmente devido à escassa diversidade de fornecedores de petróleo. Não obstante, de acordo com a análise de produtividade efetuada, os países com os piores *scores* de eficiência, foram os que registaram maiores níveis de progresso tecnológico devido à melhoria do índice de *Shannon-Wiener*. A análise de sensibilidade realizada demonstrou que a classificação da Eslováquia é pouco robusta, na medida em que é muito sensível à perturbação dos valores dos fatores de avaliação. Finalmente, é de notar que a Suécia foi o único país robustamente eficiente em todos os cenários de perturbação dos fatores de avaliação e anos considerados.

Palavras-chave: Segurança energética, *scores* de eficiência, petróleo, PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra, reservas estratégicas, *energy mix*, índice de Shannon-Wiener.

Abstract

This work proposes a global indicator for the performance of net oil importing countries in terms of energy security, based on the use of Data *Envelopment Analysis* (DEA). The factors chosen for this purpose are the Gross Domestic Product GDP *per capita* corrected by purchasing power parity and the strategic oil reserves (both to be maximized), seen as controllable outputs; the Cost Insurance and Freight (CIF) price of oil imports, considered as a non-controllable input; the weight of crude in the energy mix, as a controllable input; and an adaptation of the Shannon-Wiener index (as a measure of the diversity of oil suppliers in each importing country), as an undesirable input (considering the rationality that the higher its value, the better). In this context, 15 net oil importing countries from the EU, and the UK, were selected considering the period from 2013 to 2014 and from 2014 to 2019. The performance each country was evaluated through a non-radial and non-oriented DEA model, the Weighted Russel Directional Distance Model (WRDDM). On the other hand, a robustness analysis was also performed to the results obtained, as well as an analysis of the variation in productivity of the proposed indicator. The results show that Slovakia, the Czech Republic, and Sweden performed best since these countries had a low weight of oil in the energy *mix*. In opposition, Poland and Hungary have always performed worst, mainly due to the scarce diversity of oil suppliers. However, according to the productivity analysis, the countries with the worst efficiency scores, were also the ones with the highest levels of technological progress due to the improvement of the *Shannon-Wiener index*. The sensitivity analysis showed that Slovakia's classification is not very robust, as it is very sensitive to the perturbation of the values of the evaluation factors. Finally, it should be noted that Sweden was the only robustly efficient country in all the scenarios of perturbation of the evaluation factors and years considered.

Keywords: Energy security, efficiency scores, oil, GDP *per capita* purchasing power parity adjusted, strategic reserves, energy mix, Shannon-Wiener index.

Índice

Introdução	1
2. Revisão de literatura	4
3. Abordagem metodológica	10
3.1. O modelo WRDDM.....	10
3.2. Análise de Robustez.....	12
3.3. Análise de Produtividade.....	13
4. Dados e Pressupostos	15
4.1. Seleção de <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	15
4.2. Fontes de informação consideradas na recolha dos dados.....	18
5. Discussão dos resultados obtidos	21
5.1. Análise da estatística descritiva de todos os <i>outputs</i> e <i>inputs</i>	21
5.2. Análise DEA.....	23
5.2.1. <i>Ranking</i> dos <i>scores</i> de eficiência dos países estudados, de acordo com a sua localização geográfica.....	23
5.2.2. Decomposição da ineficiência.....	29
5.2.3. Projeções vs valores originais.....	33
5.2.4. Relação entre os indicadores e o nível de eficiência.....	39
5.3. Análise de Robustez.....	42
5.4. Análise de Produtividade.....	44
6. Conclusão	55
Referências Bibliográficas	58
Webgrafia	62
Apêndice	63

Índice de Tabelas

Tabela 1. – Alguns estudos no âmbito da segurança e eficiência energética.....	8
Tabela 2. - Estatística descritiva de todos os indicadores utilizados para todos os anos analisados.	20
Tabela 3. - Estatística descritiva de todos os indicadores utilizados, repartida por DMUs eficientes e ineficientes, de todos os anos analisados.....	22

Índice de Figuras

Figura 1. - Preço spot do petróleo Brent.	17
Figura 2. - Energy mix da UE, no ano de 2019.....	17
Figura 3. - Ranking dos scores de eficiência dos países estudados e número de vezes que foram considerados benchmark.	28
Figura 4. - Decomposição da ineficiência.	32
Figura 5. – Valor original dos indicadores GDP PPP PC e STOCKS vs a correspondente projeção, relativamente a todos os anos estudados.	37
Figura 6. – Valor original dos indicadores %OIL IN ENERGY MIX e SHANNON INDEX vs a correspondente projeção, relativamente a todos os anos estudados.	38
Figura 7. – Valor dos indicadores GDP PPP PC e STOCKS vs níveis de eficiência, relativamente a todos os anos estudados.....	40
Figura 8. – Valor dos indicadores %OIL IN ENERGY MIX e SHANNON INDEX vs níveis de eficiência, relativamente a todos os anos estudados.....	41
Figura 9. – Resultados da análise de robustez, relativamente a todos os anos analisados.	43
Figura 10. – Ganhos totais de produtividade de acordo com os ganhos de eficiência e progresso tecnológico, e de acordo com cada output e input utilizados, na transição de 2013 para 2014.	51
Figura 11. – Ganhos de eficiência de acordo com cada output e input utilizados, e ganhos provenientes do progresso tecnológico segundo cada output e input utilizados, na transição de 2013 para 2014.....	52
Figura 12. - Ganhos totais de produtividade de acordo com os ganhos de eficiência e progresso tecnológico, e de acordo com cada output e input utilizados, na transição de 2014 para 2019.	53
Figura 13. - Ganhos de eficiência de acordo com cada output e input utilizados, e ganhos provenientes do progresso tecnológico segundo cada output e input utilizados, na transição de 2014 para 2019.....	54

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

APEC – *Asia-Pacific Economic Cooperation*

ASEAN – *Association of Southeast Asian Nations*

CRS – *Constant Returns to Scale*

DEA – *Data Envelopment Analysis*

DMU – *Decision Making Units*

EUA – Estados Unidos da América

GDP – *Gross Domestic Product*

IEA – *International Energy Agency*

OCDE – Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económicos

PIB – Produto Interno Bruto

SEM – *Simultaneous Equation Modeling*

SVAR - *Structural Vector Autoregressive*

UE – União Europeia

WRDDM – *Weighted Russell Directional Distance Model*

Introdução

Em sentido lato, o petróleo costuma ser apelidado de “ouro negro”, devido ao facto de ser a fonte energética mais utilizada em todo o planeta, sendo também um recurso utilizado noutras indústrias altamente produtivas, como é o caso da indústria do plástico (Gasser, 2020). As facilidades de extração, de transporte e de refinação, fazem do petróleo a fonte energética de eleição a nível mundial (Alekhina & Yoshino, 2018).

De facto, recentemente, estudos concluíram, com base no teste de casualidade de Granger, que existe uma relação direta entre o crescimento económico e o consumo de energia na Europa (Obadi e Korcek, 2014). Estes resultados foram particularmente obtidos para países como a França, Alemanha, Grécia, Países Baixos, Polónia, Portugal, Eslováquia, Espanha, Suécia e Reino Unido (países estudados no âmbito da presente dissertação). Em 2019, o petróleo e os seus produtos derivados representavam 36,4 % do total das fontes energéticas disponíveis na União Europeia (UE) (Comissão Europeia, 2019). Apesar da aposta dos países na redução da dependência de combustíveis fósseis, a sua oferta regular tem sido vital para o desenvolvimento económico e social dos países desenvolvidos (Gupta, 2008). Desta forma, a segurança do abastecimento de petróleo é frequentemente tema das principais agendas políticas, particularmente após as duas crises mundiais do petróleo (Yang et al., 2014; Iqbal, Fatima, Abbas, & Iram, 2019).

Neste contexto, a segurança energética e as ameaças que a rodeiam são dos assuntos mais proeminentes que norteiam as interações dos políticos e dos regimes dominantes com o mundo. A UE reconheceu que é fundamental a obtenção de níveis adequados de segurança energética, que nunca devem ser comprometidos, especialmente com as crescentes ameaças geopolíticas que enfrentam os grandes produtores, as graves flutuações dos preços de vários produtos energéticos e as perturbações no fornecimento de grandes fornecedores devido a disparidades políticas (Elbassoussy, 2019). A crescente dependência da UE de um número limitado de fornecedores de energia, especialmente da Rússia, levou a UE a adotar uma nova estratégia que visa diversificar suas fontes de abastecimento (Elbassoussy, 2019).

Assim sendo, a avaliação da vulnerabilidade dos países às crises energéticas tem sido alvo de estudo por diversos autores. Neste âmbito, destacam-se as revisões da literatura de diversos indicadores destinados a avaliar a segurança energética dos países presentes em

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Kruyt et al., (2009), Valdés (2018), Ang et al. (2015a), Erahman et al. (2016), Apergis et al. (2015) e em Bandura (2008), que serviram de base ao estudo de 63 indicadores elaborado por Gasser (2020). Este último concluiu que a panóplia de indicadores propostos na literatura apresenta falta de transparência, particularmente, no que se refere à seleção e normalização do conjunto de critérios selecionados para a construção dos indicadores, referindo que apenas um parco número de estudos realiza a análise de sensibilidade ou robustez dos resultados obtidos.

Deste modo, a metodologia DEA pode ser particularmente útil para avaliar a performance dos países em termos de segurança energética (neste contexto, as unidades de decisão/*Decision-making units* – DMUs - em análise), na medida em que permite considerar diferentes fatores de avaliação em simultâneo, designados como *inputs* (fatores a minimizar) e *outputs* (fatores a maximizar), possibilitando a identificação de *benchmarks* (em termos de melhores práticas) e facultando informação relativamente aos ajustamentos que é necessário efetuar nos fatores de avaliação dos países com performances ineficientes para que passem a obter performances eficientes. Adicionalmente, esta metodologia permite realizar uma análise de sensibilidade e robustez relativamente aos *rankings* de performance obtidos, avaliando até que ponto as DMUs permanecem eficientes ou ineficientes, como resultado da introdução de pequenas perturbações nos fatores de avaliação. Finalmente, esta metodologia permite avaliar ainda a evolução da produtividade dos países em termos de segurança energética, i.e., se as variações na produtividade se devem a ganhos de eficiência ou ao progresso tecnológico.

Pretende-se, assim, com este trabalho contribuir para a literatura existente sobre o uso de DEA na proposta de um indicador global de performance dos países importadores líquidos de petróleo em termos de segurança energética. Para tal, selecionaram-se como fatores de avaliação indicadores tipicamente utilizados para esse efeito na literatura científica. Deste modo, consideram-se como *outputs* controláveis pelos países o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra e as reservas estratégicas de petróleo (ambos a maximizar), como *input* não controlável o preço CIF das importações de petróleo, como *input* controlável o peso do crude no *energy mix* e como *input* indesejável (considerando a racionalidade de quanto maior o seu valor, melhor) uma adaptação do índice de *Shannon-Wiener* (como medida da diversidade dos fornecedores de petróleo de cada país importador). Para esse efeito, foram escolhidos quinze países importadores líquidos de petróleo da UE, juntamente

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

com o Reino Unido, tendo em consideração o período que decorreu de 2013 e 2014 e de 2014 a 2019. O período analisado permite avaliar, em particular, o impacto da recente e inesperada queda do preço *spot* do crude na segurança energética do conjunto de países escolhidos.

A performance de cada país foi medida através da metodologia DEA WRDDM, uma vez que se trata de um modelo não radial e não orientado, permitindo avaliar ajustamentos distintos quer nos *inputs* quer nos *outputs* em simultâneo. Por outro lado, foi realizada uma análise de robustez aos resultados obtidos, bem como uma análise da variação da produtividade do indicador proposto, no horizonte temporal contemplado.

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: no Capítulo 2, é apresentada uma revisão de literatura, que procura justificar a motivação do presente estudo e a escolha da metodologia seguida. No Capítulo 3, é descrita a metodologia utilizada neste trabalho. No Capítulo 4 são apresentados os dados e pressupostos considerados na sua recolha. No Capítulo 5 é feita a análise dos resultados obtidos. Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões deste estudo e são sugeridas pistas de investigação futura.

2. Revisão de literatura

A crise financeira global de 2008 teve um impacto significativo no mercado petrolífero. Joo et al. (2020) concluíram que a volatilidade no mercado do petróleo aumentou acentuadamente durante o período da grande crise financeira de 2008. No mesmo sentido, Lahmiri (2016) concluiu que a crise financeira de 2008 afetou a volatilidade de 26 mercados de crude, tornando-os menos previsíveis.

Posteriormente, Baumeister e Kilian (2016) procuram explicar os motivos subjacentes à queda abrupta do preço do crude entre 2013 e 2014, tendo concluído que este fenómeno se deveu, fundamentalmente, ao declínio da atividade económica global e ao volume de produção, relacionado com o crescimento inesperado da exploração de petróleo proveniente do xisto, nos EUA. Na mesma linha, Mead e Stiger (2015) concluíram que a principal razão da descida do preço do petróleo, em 2014, foi o excesso de oferta sobre a procura, estimulada, em grande parte, pelos EUA.

Os preços do crude também têm um forte impacto no Produto Interno Bruto (PIB) dos países, quer sejam importadores ou exportadores líquidos. Nesse sentido, Mendoza e Vera (2010) concluíram que os choques no aumento preço do petróleo tiveram um efeito positivo na economia da Venezuela, tendo provocado um aumento do seu PIB, entre 1984 e 2008. Da mesma forma, Mukhtarov et al. (2021) mostraram, através de um modelo SVAR (*Structural Vector Autoregressive*), que os choques no preço do crude (especialmente, as subidas) afetaram positivamente o PIB *per capita*, no Azerbaijão.

Ainda, com o objetivo de estudar o impacto das flutuações no preço do crude na economia dos países exportadores e importadores de petróleo, Taghizadeh-Hesary et al. (2019) concluíram, com base num modelo *Simultaneous Equation Modeling* (SEM), que os choques no aumento do preço do crude tiveram uma influência positiva e estatisticamente significativa (exceto no caso da Indonésia) na taxa de crescimento do PIB, no caso dos países exportadores de crude. Relativamente aos países importadores e aos seus parceiros económicos, estes foram divididos em quatro grupos (A, B, C e D). Os resultados do primeiro grupo (A), constituído pela Alemanha, Itália, Países Baixos e Polónia, apontam para que um choque no aumento preço do crude se traduza num decréscimo da taxa de crescimento do PIB. No que diz respeito ao grupo B, constituído pelo Japão, China, Coreia do Sul, Vietnam, China Tapei, Singapura e Hong Kong, com a exceção do Vietnam e China

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tapei, os aumentos dos preços do crude apresentam um efeito estatisticamente significativo e negativo nas taxas de crescimento do PIB desses países. Relativamente ao grupo C, composto pela Bielorrússia e Ucrânia, existe um efeito positivo e estatisticamente insignificante dos choques no aumento preço do crude na taxa de crescimento do PIB. Finalmente, no grupo D, composto pelos Estados Unidos da América, Índia e Turquia, é possível constatar o efeito negativo e estatisticamente significativo do aumento dos preços do crude na taxa de crescimento do PIB.

De forma análoga, Gozgor et al. (2016) estudaram a relação entre os choques do aumento do preço do crude, entre 1970 e 2013, e a performance macroeconómica de dez países membros da ASEAN, nomeadamente Brunei, Camboja, Indonésia, Laos, Malásia, Myanmar, Filipinas, Singapura, Tailândia e Vietnam. Estes autores concluíram que se registou uma correlação estatisticamente significativa entre os preços do crude e o PIB *per capita*, tendo-se verificado que o aumento do preço do petróleo em 10% levou a um aumento de 1,8% no PIB real *per capita*, na generalidade das economias pertencentes à ASEAN.

Devido ao impacto que o petróleo tem na economia global, a diversidade de fontes de abastecimento é essencial para garantir da segurança energética¹ dos países (Rajan e Hughes, 2014). Um dos indicadores tipicamente utilizados para medir esta diversidade é o índice de Shannon-Wiener. Neste contexto, Chalvatzis e Loannidis (2017) utilizaram o índice de Shannon-Wiener como medida da diversidade das fontes de abastecimento, com o intuito de estudarem a segurança energética na UE.

Ainda no âmbito da segurança energética, Northaus (1974) considera que as reservas de crude desempenham um papel importante no que diz respeito ao combate à insegurança na oferta. No mesmo sentido, Taylor e Doren (2005) afirmam que as reservas estratégicas de petróleo têm sido quase que unanimemente vistas pelos políticos como um dos melhores meios de proteção das nações contra eventuais choques na oferta de petróleo.

De acordo com Ren e Zhang (2015), no caso da China, a alta dependência externa de crude aumenta significativamente o risco de uma eventual rutura de fornecimento. Deste modo, a

¹ A segurança energética corresponde à disponibilidade ininterrupta de produtos energéticos no mercado, a um preço acessível para todos os consumidores (privados e industriais), ao mesmo tempo que as preocupações ambientais são respeitadas e com vista a um desenvolvimento sustentável (Comissão Europeia, 2001). O conceito de segurança energética pode ainda ser visto em termos de curto e de longo prazo (IAEE, 2018). Relativamente ao curto prazo, este é mais vocacionado para questões relacionadas com alterações súbitas no equilíbrio entre a oferta e a procura. No caso da segurança energética a longo prazo, apesar de alguma falta de consenso, existem indicadores como a diversidade de fontes energéticas, o nível de dependência das importações e os gastos energéticos.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

segurança na oferta de petróleo tem vindo a ganhar cada vez mais importância, e o processo de criação de reservas estratégicas de crude tornou-se uma preocupação. No entanto, os custos com as reservas serão, inevitavelmente, maiores. Deste modo, o governo terá que escolher as quantidades ótimas de reservas de petróleo, de modo a haver um equilíbrio entre a segurança na oferta e os custos com as reservas. Os mesmos autores, concluíram que as reservas de petróleo oscilam de acordo com a estabilidade dos preços praticados pelos fornecedores, bem como com a elasticidade do preço. Assim, quanto maior é a elasticidade, maiores são as reservas de crude. Na mesma linha, Guo et al. (2020) afirmam que quanto maiores são as reservas de petróleo, menores serão os impactos negativos numa sociedade, no caso de uma eventual rutura na oferta.

Por todos os motivos até agora referidos, a literatura científica tem sido prolífica na proposta de indicadores de segurança energética. Neste âmbito Kruyt et al. (2009) apresentam uma revisão de vários indicadores de segurança energética, dividindo-os em quatro grupos: os que avaliam a disponibilidade, a acessibilidade (em termos geopolíticos e económicos) e a sua aceitabilidade (em termos ambientais e sociais). Recentemente, partindo do levantamento dos indicadores de segurança energética realizado por Valdés (2018), Ang et al. (2015a), Erahman et al. (2016), Apergis et al. (2015) e Bandura (2008), Gasser (2020) analisou 63 indicadores que permitem avaliar a performance dos países em termos de segurança energética, tendo concluído que existe uma falta de transparência, especificamente, no que diz respeito à seleção e normalização das métricas para instanciar os indicadores e que apenas um pequeno número de estudos efetua a análise de sensibilidade ou robustez dos resultados obtidos.

Deste modo, utilizaremos a metodologia DEA, que pode ser particularmente útil neste contexto, pois permite considerar diferentes fatores de avaliação em simultâneo, designados como *inputs* (fatores a minimizar) e *outputs* (fatores a maximizar), possibilita a identificação de *benchmarks* (em termos de melhores práticas) e facultar informação relativamente aos ajustamentos que é necessário efetuar nos fatores de avaliação dos países com performances ineficientes para que passem a obter performances eficientes. Esta metodologia permite ainda efetuar a análise de sensibilidade e robustez relativamente dos resultados obtidos, avaliando até que ponto os países permanecem eficientes ou ineficientes em termos de segurança energética, caso haja pequenas perturbações nos fatores de avaliação. Finalmente, esta metodologia permite estudar a evolução da produtividade dos países em

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

termos de segurança energética, i.e., se as variações na produtividade se devem a ganhos de eficiência ou ao progresso tecnológico.

Apesar das vantagens associadas à aplicação da metodologia DEA na avaliação do desempenho dos países em termos de segurança energética, a literatura científica é ainda pouco prolífica (ver Tabela 1). Em geral, os estudos apresentados na Tabela 1 validam a importância da metodologia DEA na avaliação de desempenho dos países no contexto da segurança energética; contudo, e de acordo com a informação disponível até à data, nenhum dos estudos contemplados na tabela efetua a análise de robustez dos resultados obtidos, nem considera eventuais variações na produtividade. Adicionalmente, os modelos tipicamente utilizados na literatura são radiais e orientados, não proporcionando uma visão abrangente em termos de eficiência. Deste modo, este estudo procura contribuir para a literatura científica existente, propondo a avaliação de dezasseis países europeus, considerando o modelo WRDDM, que é um modelo não orientado e não radial, procurando colmatar algumas das limitações previamente identificadas.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela 1. – Alguns estudos no âmbito da segurança e eficiência energética. Fonte: Elaboração própria.

Autor	Metodologia	Objetivos	Espaço geográfico	Espaço temporal	Número de indicadores utilizados	Indicadores comuns ao presente estudo (ou, no caso da análise DEA, todos os indicadores utilizados)
Onamics (2005)	Índice de segurança energética.	Os autores construíram um índice de segurança energética, com o intuito de medir a capacidade de um país recuperar de choques súbitos ou prolongados, no âmbito da energia.	Europa Central e de Leste.	2005	12.	Índice de estabilidade política (na presente dissertação, o índice de estabilidade política e ausência de terrorismo é utilizado na variável correspondente ao índice de Shannon);
Hu e Kao (2007)	Modelo DEA CRS (<i>Constant Returns to Scale</i>)	Aplicação da análise DEA para definir <i>targets</i> de poupança energética eficiente para os países da APEC.	Região Ásia Pacífico.	1991-2000	4	<i>Stocks</i> de capital (<i>input</i>); Força Laboral (<i>input</i>); Consumo energético (<i>input</i>). PIB corrigido pela paridade do poder de compra (<i>output</i>).
Zhou e Ang (2008).	DEA-CRS; Modelo DEA não radial; Modelo DEA Slacks-based.	Medir a eficiência energética através da metodologia DEA.	Países da OCDE.	1997-2001.	8.	<i>Stocks</i> de capital (<i>input</i>); Força laboral (<i>input</i>); Consumo de carvão (<i>input</i>); Consumo de petróleo (<i>input</i>); Consumo de gás natural (<i>input</i>); Consumo de outros combustíveis (<i>input</i>); PIB corrigido pela paridade do poder de compra (<i>output</i> desejável); Emissões de CO2 (<i>output</i> indesejável).
Augutis et al. (2009)	Índice da energia elétrica da Lituânia	Os autores desenvolveram um sistema de indicadores de segurança, divididos pelas suas vertentes técnicas, sociopolíticas e ambientais.	Lituânia.	2005-2020	22	Porção dos combustíveis nucleares dentro dos combustíveis totais (no presente estudo, ao invés da energia nuclear, foi utilizado o peso do petróleo no <i>energy mix</i>); Preço da energia elétrica proveniente das centrais nucleares (na presente dissertação foi utilizado o preço CIF pago por cada país relativamente às suas importações de crude); Ameaça de ataques terroristas (no corrente estudo, o índice de estabilidade política e ausência de terrorismo é utilizado na variável correspondente ao índice de Shannon);

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Prambula e Nakano (2012)	Índice de performance energética	Os autores construíram um índice com o intuito de medir a performance da Indonésia no âmbito da segurança energética.	Indonésia.	2010-2031	12	Diversificação de uma fonte energética dentro do total das fontes energéticas primárias – Índice de Shannon-Wiener (no caso do presente estudo, foi utilizado o índice de Shannon-Wiener para medir a diversidade dos fornecedores de petróleo).
Song et al. (2013)	DEA- <i>Bootstrap</i>	Analisar a eficiência energética.	Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.	2009-2010.	4.	População economicamente ativa (<i>input</i>); Taxa de formação de capital (<i>input</i>); Consumo de energia (<i>input</i>); PIB a preços correntes (<i>output</i>).
Zhang et al. (2013)	Two phase DEA	Construção de um quadro de avaliação e de um modelo DEA para avaliar a segurança das importações de petróleo.	China.	1993-2011.	8.	Rácio das importações de petróleo da China em relação às importações a nível mundial; Concentração geopolítica do mercado petrolífero; Índice de volatilidade do dólar; Volatilidade do preço do crude; Rácio do valor das importações de petróleo sobre o PIB; Risco de rutura de rotas comerciais; Dependência das importações de petróleo; Diversificação dos fornecedores de petróleo
Institute for 21 st Century Energy (2016)	Índice do risco de segurança energética dos EUA.	Os autores contruíram um índice para medir os riscos desfavoráveis à segurança energética.	EUA.	1980-2004	29.	Reservas de petróleo; Preços do crude;
Institute for 21 st Century Energy (2017)	Índice do risco de segurança energética dos EUA	Os autores contruíram um índice para medir os riscos desfavoráveis à segurança energética.	EUA.	1970–2040	37.	Reservas de petróleo; Preços do crude;
Zeng et al. (2017)	DEA-linked approach para construir um Índice integrado de segurança energética	Analisar a tendência da segurança energética dos países Bálticos.	Países Bálticos.	2008-2012.	9	Intensidade energética (<i>input</i>); Balança comercial energética (<i>output</i>); Peso da energia no Índice de Preços do Consumidor (<i>input</i>); Preço da eletricidade para a indústria média (<i>input</i>); Dependência das importações de energia (<i>input</i>); Diversificação dos fornecedores de petróleo (<i>input</i>); Diversificação do <i>energy mix</i> (<i>input</i>); Peso das energias renováveis dentro do <i>energy mix</i> (<i>output</i>); Intensidade do carbono (<i>input</i>).

3. Abordagem metodológica

3.1. O modelo WRDDM

Neste estudo foi utilizado o modelo WRDDM, uma vez que, para além da ineficiência técnica, permite a consideração de diferentes níveis de redução para os *inputs* e de expansão para os *outputs*, porque é um modelo não radial e não orientado, possibilitando ainda a atribuição de pesos distintos aos fatores de avaliação, de acordo com as preferências do decisor (Chen et al., 2015). Este modelo possui a seguinte formulação:

$$\begin{aligned}
 \max \beta_o^R &= \max (w_y (\sum_r \bar{\omega}_{yg}^r \alpha_o^r) + w_x (\sum_i \bar{\omega}_x^i \zeta_o^i)) \\
 \text{s.a. } \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq y_{ro}^c + \alpha_o^r g_{yr}, \quad r = 1, \dots, s, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{io} - \zeta_o^i g_{xi}, \quad i = 1, \dots, m, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \\
 \lambda_j &\geq 0 \quad (\forall j),
 \end{aligned} \tag{1}$$

onde os vetores dos *inputs* e *outputs* da DMU₀ são representados por x_o e y_o , respetivamente. As variáveis ζ_o^i e α_o^r retratam as medidas de ineficiência individuais para cada *input* e *output*, respetivamente. Todas as variáveis, com a exceção de β_o , são não-negativas. Quanto aos valores de w_y e w_x , estes correspondem à importância global dada aos *outputs* e *inputs*, devendo o seu somatório perfazer o valor de um. No entanto, podem ainda ser atribuídas diferentes prioridades aos fatores de avaliação individualmente, isto é: $\sum_r \bar{\omega}_y^r = 1$, $\sum_i \bar{\omega}_x^i = 1$. Finalmente, os valores g_{yr} e g_{xi} correspondem aos vetores direcionais, coincidindo, no caso presente, com os valores originais dos *outputs* e *inputs*, respetivamente.

Relativamente à medida de ineficiência, quando este indicador apresenta o valor de zero ($\beta_o^R = 0$), a DMU em questão será considerada eficiente.

O conjunto de DMUs de referência respeitantes à DMU ineficiente é apurado através da resolução da seguinte formulação, partindo do pressuposto de que α_o^{r*} e ζ_o^{i*} são obtidos na solução ótima de (1):

$$\max \sum_r s_r^+ + \sum_i s_i^-,$$

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

$$\begin{aligned}
 \text{s.a. } \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ &= y_{ro} + \alpha_o^{r*} g_{yr}, \quad r = 1, \dots, s, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- &= x_{io} - \zeta_o^{i*} g_{xi}, \quad i = 1, \dots, m, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \quad \lambda_j \geq 0 \quad (\forall j), \\
 s_r^+ &\geq 0 \quad (\forall r), \\
 s_i^- &\geq 0 \quad (\forall i)
 \end{aligned} \tag{2}$$

Considerando $(\alpha_o^{r*}, \zeta_o^{i*}, s_r^{+*}, s_i^{-*}, \lambda_j^*)$ a solução ótima de (2), o conjunto de DMUs eficientes que são consideradas referência de melhores práticas para a DMU_o não eficiente é obtido da forma que se segue:

$$E_o = \{j: \lambda_j^* > 0, j = 1, \dots, n\}. \tag{3}$$

O ponto da fronteira eficiente, que pode ser associado a uma combinação linear dos *inputs* e *outputs* das DMUs de referência, é representado pela seguinte expressão:

$$(\hat{x}_o, \hat{y}_o) = (\sum_{j \in E_o} \lambda_j^* x_j, \sum_{j \in E_o} \lambda_j^* y_j)$$

A medida de ineficiência obtida a partir do modelo WRDDM pode ser transformada numa medida baseada em variáveis *slack* através da seguinte transformação:

$$\begin{aligned}
 \max (w_y (\sum_r \bar{w}_y^r \frac{s_r^{+'}}{g_{yr}}) + w_x (\sum_i \bar{w}_x^i \frac{s_i^{-'}}{g_{xi}})) \\
 \text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &= y_{ro} + s_r^{+'}, \quad r = 1, \dots, s, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &= x_{io} - s_i^{-'}, \quad i = 1, \dots, m, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j z_{uj} &= z_{uo} - s_u^{-'}, \quad u = 1, \dots, q, \\
 \sum_{j=1}^n \lambda_j &= 1, \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n, \\
 s_r^{+'} &\geq 0 \quad (\forall r), \quad s_i^{-'} \geq 0 \quad (\forall i), \quad s_u^{-'} \geq 0 \quad (\forall u)
 \end{aligned} \tag{4}$$

Dado que as variáveis *slack* podem ser distintas, a função objetivo dada em (4) reproduz todas as ineficiências, permitindo obter o aumento a a redução máximas de todos os *outputs* e *inputs*, respetivamente.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Seja $(s_r^{+*'}, s_i^{-*'}, s_u^{-*'}, \lambda_j^*)$ a solução ótima do problema (4), então a medida global de ineficiência obtida a partir do método WRDDM é dada por:

$$(w_y(\sum_r \alpha_o^{r*'}) + w_x(\sum_i \zeta_o^{i*'})), \text{ onde } \alpha_o^{r*'} = \frac{\bar{w}_y^r s_r^{+'}}{g_{yr}} \text{ e } \zeta_o^{i*'} = \frac{\bar{w}_x^i s_i^{-'}}{g_{xi}}.$$

3.2. Análise de Robustez

A análise de sensibilidade relativamente às perturbações nos dados e à robustez das perturbações nos *scores* de eficiência, baseada em abordagens de super eficiência, tem sido alvo de estudo na literatura (Zhu, 1996, 2001, 2003). Neste estudo, esta ferramenta é particularmente importante para avaliar o impacto da perturbação dos indicadores contemplados para avaliar a performance dos países em termos de segurança no abastecimento do petróleo nos *scores* de performance (eficiência) dos países (DMUs).

Deste modo, são consideradas perturbações no valor de cada fator dadas num intervalo. Este intervalo é obtido através da aplicação de uma tolerância, δ , comum a todos os fatores:

$$x_{ij}^L = x_{ij}(1 - \delta) \leq x_{ij} \leq x_{ij}(1 + \delta) = x_{ij}^U, \quad z_{ij}^L = z_{ij}(1 - \delta) \leq z_{ij} \leq z_{ij}(1 + \delta) = z_{ij}^U \\ \text{and } y_{ij}^L = y_{ij}(1 - \delta) \leq y_{ij} \leq y_{ij}(1 + \delta) = y_{ij}^U$$

Os *inputs* (controláveis e não controláveis) e os *outputs* do modelo DEA (1) são dados num intervalo de variação positivo, respetivamente, i.e., $[x_{ij}^L, x_{ij}^U]$, $[z_{ij}^L, z_{ij}^U]$ e $[y_{ij}^L, y_{ij}^U]$. Por outro lado, os vetores direcionais correspondem aos valores intervalares originais dos *inputs* e dos *outputs* (controláveis) e são dados por $[g_{xi}^L, g_{xi}^U]$ e $[g_{yr}^L, g_{yr}^U]$, respetivamente. Adicionalmente, são atribuídos os mesmos pesos a todas as DMUs.

São considerados dois cenários: um otimista e outro pessimista. No primeiro cenário, são diminuídos os *outputs* e aumentados os *inputs* de todas as DMUs exceto da DMU em avaliação (i.e., a eficiência do DMU_o em avaliação aumenta, enquanto a eficiência das restantes DMUs diminui). No segundo cenário, verifica-se a situação oposta.

O limite superior, $(1 - \beta_o^{LR})$, do intervalo de eficiência, $[(1 - \beta_o^{UR}), (1 - \beta_o^{LR})]$, para a DMU_o é obtido através da resolução do seguinte problema de programação linear, correspondendo ao cenário otimista:

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

$$\begin{aligned}
 \max \beta_o^{LR} &= \max (w_y(\sum_{r \in O} \bar{\omega}_y^r \alpha_o^r) + w_x(\sum_{i \in I} \bar{\omega}_x^i \zeta_o^i)) \\
 \text{s.t. } \sum_{j \neq o} \lambda_j y_{rj}^L &\geq y_{ro}^U + \alpha_o^r g_{yr}^U, r = 1, \dots, S, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j x_{ij}^U &\leq x_{io}^L - \zeta_o^i g_{xi}^L, i = 1, \dots, m, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j z_{uj}^U &\leq z_{uo}^L, u = 1, \dots, q, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j &= 1, \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{5}$$

O limite inferior, $(1 - \beta_o^{UR})$, do intervalo de eficiência, $[(1 - \beta_o^{UR}), (1 - \beta_o^{LR})]$, para o DMU_o é calculado através da resolução do seguinte problema de programação linear, correspondendo ao cenário pessimista:

$$\begin{aligned}
 \max \beta_o^{UR} &= \max (w_y(\sum_{r \in O} \bar{\omega}_y^r \alpha_o^r) + w_x(\sum_{i \in I} \bar{\omega}_x^i \zeta_o^i)) \\
 \text{s.t. } \sum_{j \neq o} \lambda_j y_{rj}^U &\geq y_{ro}^L + \alpha_o^r g_{yr}^L, r = 1, \dots, S, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j x_{ij}^L &\leq x_{io}^U - \zeta_o^i g_{xi}^U, i = 1, \dots, m, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j z_{uj}^L &\leq z_{uo}^U, u = 1, \dots, q, \\
 \sum_{j \neq o} \lambda_j &= 1, \lambda_j \geq 0, j=1, \dots, n.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Ao considerar (4) e (5), torna-se claro que $1 - \beta_o^{UR} \leq 1 - \beta_o^{LR}$.

De acordo com os intervalos de eficiência anteriores, as DMUs podem ser classificadas em três subconjuntos da seguinte forma: $E^{++} = \{j \in J : (1 - \beta_o^{UR}) \geq 1\}$, $E^+ = \{j \in J : (1 - \beta_o^{UR}) < 1 \text{ e } (1 - \beta_o^{LR}) \geq 1\}$ e $E^- = \{j \in J : (1 - \beta_o^{LR}) < 1\}$, onde J é o conjunto de índices das DMUs ($j=1, \dots, n$).

Considere que as DMUs eficientes são classificadas em E^{++} (fortemente eficientes), E^+ (potencialmente eficientes) e E^- (fortemente ineficientes).

3.3. Análise de Produtividade

O Índice de Malmquist e o Indicador de Produtividade de Luenberger foram desenvolvidos para avaliar as mudanças de eficiência ao longo do tempo (Chambers et al., 1998). Estes

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

índices de produtividade são obtidos a partir dos *scores* de eficiência calculados com base nos modelos DEA e permitem medir a produtividade total dos fatores (TFP). A TFP pode ser decomposta em Alteração Tecnológica e Alteração de Eficiência (Färe et al., 1994). A Alteração Tecnológica avalia as deslocações da fronteira de produção. A Alteração de Eficiência avalia as alterações na posição de uma DMU relativamente à fronteira eficiente.

Neste contexto, baseámo-nos no Indicador de Produtividade de Luenberger como medida de TFP, porque vários autores sugerem que este indicador tem vantagens sobre o Índice de Malmquist (Chambers et al., 1998; Balk et al., 2008).

De modo a avaliar a estrutura da alteração da TFP, Färe et al. (1994) propôs a decomposição da TFP em Alteração Tecnológica (TECHCH) e Alteração de Eficiência (EFFCH). A TFP avaliada através do modelo WRDDM obtém-se da seguinte forma:

$$TFP_t^{t+1} = \frac{1}{2} \{ \bar{D}^{t+1}(x_k^t, y_k^t, b_k^t) - \bar{D}^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) + \bar{D}^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t) - \bar{D}^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) \}, \quad (7)$$

onde x_k^t e x_k^{t+1} são os *inputs* da DMU k nos anos t e $t+1$, y_k^t e y_k^{t+1} são os *outputs* da DMU k para os anos t e $t+1$, e b_k^t e b_k^{t+1} são os *inputs* indesejáveis da DMU k para os anos t e $t+1$. $\bar{D}^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t)$ e $\bar{D}^{t+1}(x_k^t, y_k^t, b_k^t)$ são as ineficiências produtivas do ano t avaliadas através das fronteiras de eficiência nos anos t e $t+1$, respetivamente. Por outro lado, $\bar{D}^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1})$ e $\bar{D}^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1})$ são as ineficiências produtivas do ano $t+1$ avaliadas através das fronteiras de eficiência nos anos t e $t+1$, respetivamente.

Em seguida, a TFP pode ser decomposta em TECHCH e EFFCH, como dado em (8) e (9).

$$TECHCH_t^{t+1} = \frac{1}{2} \{ \bar{D}^{t+1}(x_k^t, y_k^t, b_k^t) + \bar{D}^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) - \bar{D}^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t) - \bar{D}^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) \}, \quad (8)$$

$$EFFCH_t^{t+1} = \bar{D}^t(x_k^t, y_k^t, b_k^t) - \bar{D}^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}), \quad (9)$$

$$TFP_t^{t+1} = TECHCH_t^{t+1} + EFFCH_t^{t+1}. \quad (10)$$

A TECHCH para qualquer DMU apenas corresponde a alterações da fronteira eficiente do ponto de vista dessa DMU, não indicando necessariamente se a DMU desloca a fronteira de produção na direção mais desejável.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Assim, de modo a identificar as DMUs responsáveis pela deslocação da fronteira na direção mais desejável, as chamadas "inovadoras" (ver Färe et al., 1994), é necessário verificarem-se as três condições seguintes:

$$TECHCH_{t,k}^{t+1} > 0, \quad (11)$$

$$\bar{D}^t(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) < 0, \quad (12)$$

$$\bar{D}^{t+1}(x_k^{t+1}, y_k^{t+1}, b_k^{t+1}) = 0. \quad (13)$$

4. Dados e Pressupostos

A amostra deste estudo é composta por quinze países membros da União Europeia (Alemanha, Áustria, Bélgica, Eslováquia, Espanha, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Países Baixos, Polónia, Portugal, República Checa e Suécia), juntamente com o Reino Unido. A escolha recaiu sobre os países importadores líquidos de petróleo da UE para os quais existiam dados.

O horizonte temporal da análise (2013 e 2014, 2014 e 2019), deve-se, por um lado, à existência de dados para todos os países e indicadores apenas nestes períodos, e, por outro, devido ao facto de entre 2013 e 2014 ter havido uma queda do preço *spot* do crude.

4.1. Seleção de *inputs* e *outputs*

Nesta secção é feita uma breve apresentação dos indicadores utilizados neste estudo. A escolha dos referidos indicadores teve como base a revisão de literatura – ver Tabela 1.

O *output* “GDP PPP PC” corresponde ao PIB *per capita* medido em paridade de poder de compra (PPP). A paridade do poder de compra mede o poder de compra entre diferentes moedas, eliminando as diferenças do nível de preços registado em países diferentes.

O *output* “STOCKS” corresponde ao número de dias de consumo que cada país possui em termos de reservas estratégicas. Todos os países membros da Agência Internacional de

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Energia (IEA) têm a obrigação de ter reservas estratégicas de petróleo equivalentes a, pelo menos, noventa dias de consumo do total de importações líquidas (IEA, 2021). No caso de uma ruptura severa da oferta de petróleo, os membros da IEA podem disponibilizar essas reservas no mercado petrolífero como parte de uma ação coletiva. Por outro lado, no âmbito da UE, a Diretiva 2006/67/CE do Conselho de 24 de julho e 2006 obriga os Estados-Membros a manterem um nível mínimo de reservas de petróleo bruto e/ou de produtos petrolíferos. De acordo com esta Diretiva: “Os Estados-Membros adotarão todas as disposições legislativas, regulamentares e administrativas adequadas para manter em toda a Comunidade, de forma permanente e com reserva do disposto no artigo 10º, um nível de reservas de produtos petrolíferos equivalente a, pelo menos, noventa dias do consumo interno diário médio durante o ano civil mencionado no nº 2 do artigo 4º, para cada uma das categorias de produtos petrolíferos mencionadas no artigo nº 2”. De forma complementar, segundo o número um do artigo quinto, “As reservas requeridas pelo artigo 1º podem ser mantidas sob a forma de petróleo bruto e de produtos intermédios, bem como sob a forma de produtos acabados”.

Na forma de *input* não controlável, foi utilizado o preço CIF, com a designação de “*PRICE*”. O preço CIF de uma matéria-prima corresponde ao preço de um bem entregue na fronteira do país importador, preço esse que inclui todos os encargos relativos a seguros e frete incorridos até ao ponto de destino, ou então, por outras palavras, o preço de um bem ou serviço entregue a um residente, antes do pagamento de quaisquer custos relativos a direitos de importação. A Figura 1 apresenta as oscilações do preço do crude, desde o ano 2000 até 2019, ilustrando a maior queda do preço do petróleo registada entre 2013 e 2014.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

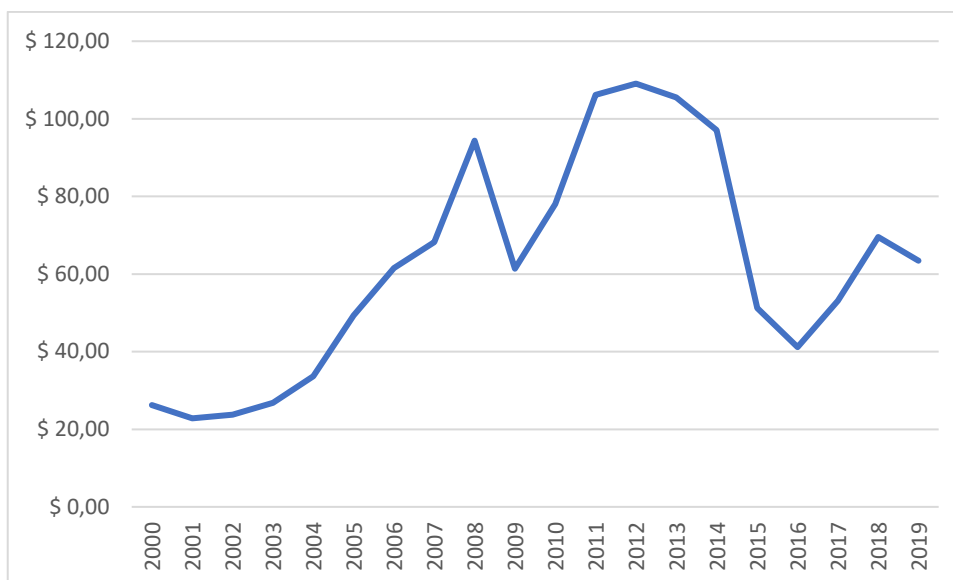


Figura 1. - Preço spot do petróleo Brent. Fonte: elaboração própria, baseada nos dados constantes no website macro trends.

O indicador “%OIL IN ENERGY MIX”, na forma de *input*, corresponde ao peso do petróleo no total das fontes energéticas primárias disponíveis em cada país (*energy mix*). Através deste indicador é possível quantificar os níveis de dependência e vulnerabilidade de cada país face a esta matéria-prima. A Figura 2 mostra o *energy mix* da UE, que registava, em 2019, um peso muito significativo dos produtos petrolíferos.

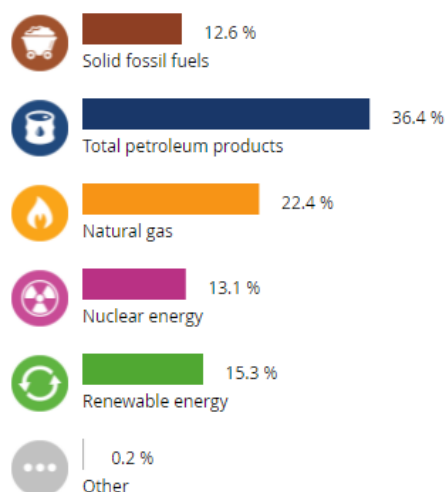


Figura 2. - Energy mix da UE, no ano de 2019. Fonte: website Eurostat.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Com base no relatório “*Energy Trends September 2020*”, da autoria do Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial, do Governo britânico, foi utilizado o índice de Shannon-Wiener, com o desígnio de “SHANNON INDEX”, com a finalidade de avaliar a diversidade de fornecedores de cada país estudado, ponderado por um índice de estabilidade política e ausência de terrorismo (disponível no *website* do Worldbank). A fórmula de cálculo do índice é a seguinte:

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot \ln(X_i) \cdot B_i \quad (14)$$

onde X_i corresponde ao peso das importações provenientes do fornecedor “ i ”, e “ B_i ” representa o índice de estabilidade política e ausência de terrorismo do país “ i ”.

4.2. Fontes de informação consideradas na recolha dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram recolhidos a partir de diferentes fontes de informação. No caso do indicador “GDP PPP PC”, os valores recolhidos tiveram como origem o *website* do “WorldBank”². No caso do indicador “STOCKS”³, os dados foram retirados do *website* do IEA. Neste caso, uma vez que os dados disponíveis são mensais, foi feita uma média anual das reservas. No *website* da Comissão Europeia⁴, foi possível extrair documentos que continham dados relativos aos preços CIF (pagos por cada país no âmbito das suas importações), bem como informações sobre o peso do petróleo dentro do total das fontes energéticas de cada país, exceto no caso do Reino Unido, cujos dados foram extraídos do *website* do IEA⁵. Finalmente, no que diz respeito aos dados para o cálculo do índice de Shannon-Wiener, estes tiveram proveniência de duas fontes distintas. No caso das importações, os dados foram extraídos de um *website* da Comissão Europeia. Quanto ao índice de estabilidade política e ausência de terrorismo, este teve proveniência de um documento disponível no *website* do WorldBank⁶. No que se refere aos dados relativos à capacidade de refinação e às componentes do PIB de cada país, os dados foram retirados dos

²Fonte: *website* <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD>.

³Fonte: *website* <https://www.iea.org/articles/oil-stocks-of-iea-countries>.

⁴Fonte: *website* https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/eu-crude-oil-imports_en.

⁵Fonte: *website* <https://www.iea.org/countries/united-kingdom>.

⁶Fonte: *website* <http://info.worldbank.org/governance/wgi/>.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

websites da BP⁷ e da Comissão Europeia⁸, respetivamente. A Tabela 2 apresenta a estatística descritiva para a amostra global de países relativamente aos diferentes *inputs* e *outputs*.

⁷Fonte: *website* <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>.

⁸Fonte: *website* <https://ec.europa.eu/eurostat/web/national-accounts/data/main-tables>.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela 2. - Estatística descritiva de todos os indicadores utilizados para todos os anos analisados. Fonte: elaboração própria.

	2013				2014				2019			
	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
GDP PPP PC	36 875,05	9 140,09	24 498,66	49 241,52	38 406,72	9 825,59	25 475,50	51 968,19	48 097,44	14 683,81	30 869,15	89 431,40
STOCKS	135,86	36,85	103,50	234,08	136,09	26,42	109,42	195,17	156,60	74,15	106,33	381,33
PRICE	109,03	1,21	106,78	110,63	99,06	2,23	95,55	103,81	64,18	0,99	62,24	65,79
%OIL IN ENERGY MIX	0,3399	0,1001	0,1848	0,5094	0,3509	0,0999	0,1814	0,4966	0,3568	0,0953	0,2058	0,5198
SHANNON INDEX	1,2686	0,7281	0,0100	2,2725	1,3198	0,6815	0,0100	2,2280	1,3636	0,6355	0,0100	2,2317

5. Discussão dos resultados obtidos

5.1. Análise da estatística descritiva de todos os *outputs* e *inputs*

Na Tabela 3 constam as estatísticas descritivas dos *outputs* e *inputs* relativamente aos países eficientes e ineficientes.

Como seria de esperar, os países eficientes apresentam valores para os *outputs*, em média, superiores aos dos países ineficientes, em todos os anos analisados, observando-se o contrário no caso dos *inputs* desejáveis e controláveis.

No caso do preço das importações de crude (*input* não controlável), não há diferenças significativas na média dos países eficientes, comparativamente aos países ineficientes.

Finalmente, no âmbito do índice de Shannon-Wiener (*bad input*), o valor médio do referido indicador é, significativamente, superior nos países eficientes, face aos países ineficientes, mostrando que os países com melhor performance têm maior nível de diversificação de fornecedores de petróleo.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela 3. - Estatística descritiva de todos os indicadores utilizados, repartida por DMUs eficientes e ineficientes, de todos os anos analisados. Fonte: elaboração própria.

	DMUs Eficientes											
	2013				2014				2019			
	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
	GDP PPP PC	39 273,21	8 189,78	28 002,50	49 241,52	37 439,77	8 313,05	26 642,11	49 233,22	49 646,09	17 593,30	30 869,15
STOCKS	143,46	49,66	103,50	234,08	128,27	17,65	112,17	164,58	159,29	89,49	106,58	381,33
PRICE	109,03	1,43	106,78	110,63	98,39	1,05	107,61	110,38	63,92	1,05	62,24	65,03
%OIL IN ENERGY MIX	0,3018	0,0898	0,1848	0,4196	0,3780	0,1004	0,2308	0,5094	0,3510	0,1224	0,2058	0,5198
SHANNON INDEX	1,3539	0,7530	0,0100	2,2725	1,3378	0,7106	0,0100	2,2280	1,4249	0,7430	0,0100	2,2317
	DMUs Ineficientes											
	2013				2014				2019			
	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Mínimo	Máximo
	GDP PPP PC	34 476,90	9 939,75	24 498,66	47 885,31	35 605,30	12 458,40	25 475,50	51 154,46	46 106,33	10 868,03	33 956,82
STOCKS	128,27	17,65	112,17	164,58	130,70	21,28	109,42	160,83	153,14	55,15	106,33	267,58
PRICE	109,02	1,05	107,61	110,38	99,30	1,71	96,28	100,39	64,52	0,87	63,49	65,79
%OIL IN ENERGY MIX	0,3780	0,1004	0,2308	0,5094	0,3640	0,1075	0,2397	0,4959	0,3642	0,0508	0,3038	0,4582
SHANNON INDEX	1,1833	0,7431	0,0320	2,0299	0,9695	0,6703	0,1738	1,6926	1,2848	0,5106	0,6983	1,8888

5.2. Análise DEA

5.2.1. *Ranking* dos *scores* de eficiência dos países estudados, de acordo com a sua localização geográfica

Nas Tabelas A.1., A.3. e A.5., em Apêndice, é possível consultar os *scores* de eficiência de todos os países estudados, bem como a sua posição no *ranking* e o número de vezes que cada país foi considerado como *benchmark*, ou seja, como referência de melhores práticas para os anos de 2013, 2014 e 2019, respetivamente. Na Figura 3 é possível visualizar o *ranking* dos países em termos de desempenho relativamente à segurança no abastecimento do petróleo, bem como o número de vezes que cada país foi considerado *benchmark*, de acordo com a sua localização geográfica.

Áustria: É notório o decréscimo no desempenho do país ao longo dos anos, sendo que, na transição de 2014 (1,01) para 2019 (0,6), é registada uma diminuição acentuada do *score*, sendo-lhe atribuído o estatuto de ineficiente. Não obstante, o país em questão é considerado como referência de boas práticas seis vezes ao longo dos anos estudados (quatro vezes em 2013, e duas vezes em 2014).

Bélgica: Apesar da melhoria significativa, atingida em 2014 (1,02), nos anos de 2013 (0,88) e 2019 (0,86) a ineficiência está presente. No que concerne ao número de vezes que a Bélgica foi considerada como *benchmark*, no ano de 2014 o país foi considerado como uma referência de boas práticas quatro vezes.

República Checa: o país apresenta um contínuo e constante decréscimo do seu *score* de eficiência, de ano para ano, sendo na passagem de 2013 (1,13) para 2014 (1,08) que se verifica a maior degradação da eficiência. Relativamente às *benchmarks*, ao longo do presente estudo, o país em questão foi considerado sete vezes como referência (duas vezes em 2013 e 2014, e três vezes em 2019).

França: Apresenta um decréscimo constante do *score* de eficiência de ano para ano. Não obstante, a França foi o terceiro país classificado como referência mais vezes (treze, ao todo, dentro das quais cinco em 2013, e quatro em 2014 e 2019).

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Alemanha: O país é considerado ineficiente em todos os anos estudados, registrando o mesmo *score* de eficiência em 2013 e 2014 (0,98). Na transição de 2014 para 2019 é verificada uma redução significativa da eficiência, sendo atingido um *score* de 0,76.

Grécia: em 2013 apresentava um *score* inferior a um (ineficiência). No entanto, em 2014, o país em questão passa a ser classificado como o segundo país mais eficiente da amostra. Ainda assim, de 2014 para 2019 é registado um decréscimo acentuado do *score* de eficiência, passando de segundo classificado (em 2014) para sétimo (em 2019), mantendo, contudo, um *score* de eficiência superior a um. No que diz respeito ao número de vezes que a Grécia foi considerada *benchmark*, o número total de vezes foi de dois (uma em 2014, e outra em 2019).

Hungria: Ainda que o país em questão se encontre em situação de ineficiência em todos os anos estudados, é notória uma evolução positiva de ano para ano, com especial destaque para a transição de 2013 para 2014.

Irlanda: Em 2013 e 2014, os *scores* de 0,54 e 0,75, respetivamente, correspondem a uma situação de ineficiência. Em 2019 o país passa a obter um *score* de eficiência superior a um (1,06). Relativamente ao número de vezes considerada como *benchmark*, a Irlanda obteve esse registo cinco vezes, todas elas no ano de 2019.

Itália: Em 2013, foi obtido um *score* de 0,98. Contudo, é possível observar um ligeiro aumento de ano para ano, permitindo que, a partir de 2014, a Itália seja considerada um país eficiente. No que concerne ao número de vezes que a Itália foi considerada como *benchmark*, foi no ano de 2014 (uma vez) e de 2019 (duas vezes).

Holanda: O país é considerado eficiente em todos os anos da amostra, sendo que, na transição de 2013 para 2014, ocorreu uma degradação do *score* de eficiência, passando este de 1,07 para 1,03. Em 2019, como consequência do aumento da eficiência, o país registou um *score* correspondente a 1,1. Quanto ao número de vezes que o país em questão foi considerado *benchmark*, foi sete vezes em 2013 e 2014 e oito vezes em 2019.

Polónia: Este país foi alvo de fortes oscilações positivas de ano para ano. De 2013 para 2014, é registada uma forte subida no *score* de eficiência, passando este de -2,07 para 0,51, respetivamente. No mesmo sentido, de 2014 para 2019 é registada uma evolução positiva (0,51 para 0,75, respetivamente), embora não tenha sido atingido o estatuto de eficiência.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Portugal: Sempre dentro dos intervalos de ineficiência, o país regista uma subida do seu *score* de 2013 (0,67) para 2014 (0,72), a qual é contrabalançada por um decréscimo registado na transição de 2014 para 2019 (0,64).

Eslováquia: Em 2013 (1,37) ocupa o primeiro lugar na tabela dos *scores* de eficiência. Em sentido crescente, é registada uma subida bastante significativa, de 2013 para 2014 (1,85). No ano de 2019, regista um decréscimo significativo no seu *score* de eficiência, tendo obtido o valor de 1,44. De notar que a Eslováquia foi considerada o país mais eficiente em todos os anos estudados. No que concerne ao número de vezes que o país em questão foi considerado como *benchmark*, a Eslováquia foi considerada oito vezes como uma referência (quatro vezes em 2013, e duas vezes em 2014 e 2019).

Espanha: É considerada, em 2013 (1,19), o segundo país mais eficiente da amostra em estudo. No entanto, vê a sua situação degradar-se em 2014 (1,04). É ainda registado um ligeiro aumento, de 2014 para 2019 (1,05). No âmbito da classificação como *benchmark*, a Espanha obteve esse registo dez vezes, ao longo de todos os anos estudados (seis vezes em 2013, e duas vezes em 2014 e 2019).

Suécia: Apresenta um crescimento verificado em todos os anos em análise. No entanto, de 2014 (1,04) para 2019 (1,15), esse crescimento é mais acentuado, sendo responsável pelo segundo melhor *score* em 2019. Relativamente ao número de vezes que a Suécia foi considerada como *benchmark*, o país em questão obteve essa classificação dezoito vezes (quatro vezes em 2013, seis vezes em 2014, e oito vezes em 2019).

Reino Unido: É possível observar um decréscimo contínuo de ano para ano (*scores* de 1,05 e 1,03, de 2013 para 2014, respetivamente). No mesmo sentido, na transição de 2014 para 2019 (0,75) é registada uma degradação considerável do seu nível de eficiência, a qual lhe confere o estatuto de país ineficiente. O número de vezes que o Reino Unido foi considerado como *benchmark* acompanhou a evolução negativa dos *scores* de eficiência registada (seis vezes em 2013, três vezes em 2014, e nenhuma vez em 2019).

Em suma, na globalidade dos três anos estudados, em termos de melhores resultados obtidos destacam-se a Eslováquia, a Espanha, a República Checa e a Suécia. Por outro lado, quando à ineficiência significativa, enfatizam-se países como a Polónia, a Hungria e Portugal. Relativamente a países que melhoraram significativamente o seu *score* de eficiência, destacam-se a Grécia (na transição de 2013 para 2014) e a Irlanda

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

(essencialmente, na transição de 2014 para 2019). Em sentido contrário, o Reino Unido (na transição de 2014 para 2019) e a Áustria (na transição de 2014 para 2019) sofreram degradações significativas nos seus *scores* de eficiência.

Relativamente ao facto de a Eslováquia ter alcançado (em todos os anos estudados) os melhores *scores* de eficiência, os resultados obtidos (como fator explicativo na transição de 2014 para 2019) podem ser resultado de uma melhoria significativa da eficiência energética (na Eslováquia) no período correspondente ao espaço temporal entre 2016 e 2018, comparativamente com o período decorrido entre 2008 e 2010 (Baláž et al., 2020). A inovação tecnológica e mudanças estruturais na economia eslovaca foram os principais motores da referida melhoria da eficiência energética (Baláž et al., 2020). Um outro fator potencialmente explicativo para a classificação da Eslováquia como país mais eficiente da amostra foi a implementação de um programa denominado de “EEAP 2017-2019” (*Energy efficiency action plan*), no qual o governo eslovaco estabeleceu medidas para alcançar uma meta nacional indicativa da eficiência energética, e da poupança energética no setor da construção, bem como no consumo final de energia (Salazar et al., 2019). Para além destes fatores, em todos os anos analisados, a Eslováquia foi o país que apresentou o menor peso do petróleo dentro do *energy mix*, ou seja, foi o país menos vulnerável face a eventuais quebras e falhas provenientes da oferta de petróleo, por parte do mercado.

No que concerne à Espanha, o ano de 2013 foi o ano onde o país apresentou uma menor dependência face ao petróleo (comparativamente com os anos de 2014 e 2019), isto é, foi o ano onde foi obtido o menor valor do *input* relativo ao peso do crude no *energy mix*. Para além disso, também no ano de 2013, a Espanha obteve o seu maior valor do índice de Shannon-Wiener. Como fator explicativo surge o facto de, em 2013, a Espanha ter registado o seu maior número de fornecedores de petróleo (23), comparativamente com 2014 (21) e 2019 (19).

O facto de a República Checa ocupar o terceiro lugar do *ranking* de eficiência nos anos de 2013 e 2014, e quarto lugar em 2019, deve-se ao facto de o país dispor (em todos os anos estudados) dos valores mais baixos do *input* “%OIL IN ENERGY MIX” (18,08% em 2013, 20,97% em 2014 e 22,37% em 2019). Como explicação para este facto surge a indicação de que a principal componente do *energy mix* da República Checa (em todos os anos analisados) são os combustíveis fósseis sólidos, como, por exemplo, o carvão.

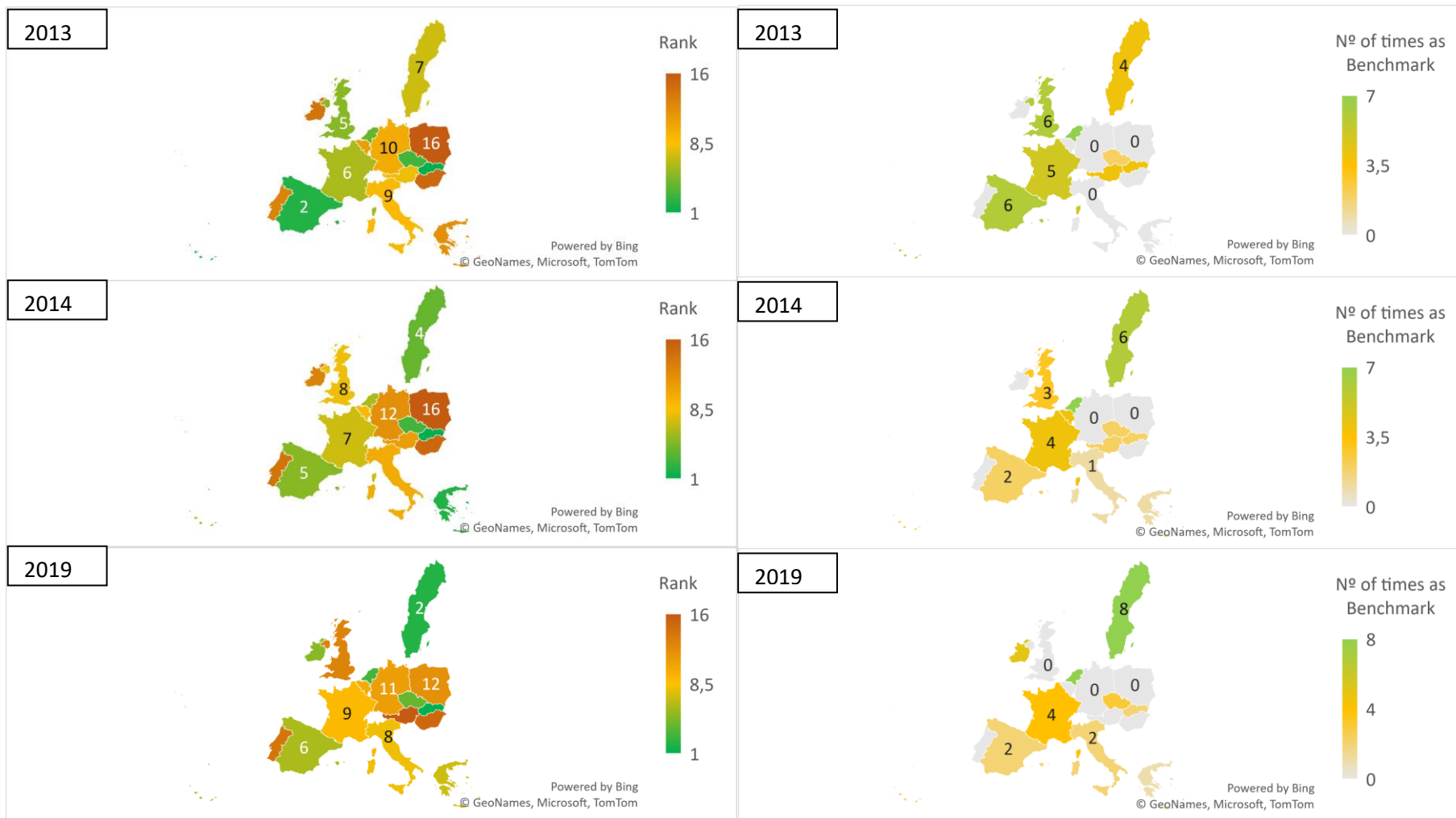
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

No caso da Suécia, destacam-se a evolução do seu *score* de eficiência de ano para ano (atingindo, em 2019, o segundo melhor *score* dentro da amostra dos países estudados), bem como o facto de ser o país que mais vezes foi considerado como *benchmark*. Como fator explicativo desta notável evolução, surge o facto de a Suécia apresentar níveis razoáveis de dependência do crude, os quais baixaram de ano para ano. De notar, ainda, o facto de (em todos os anos analisados) as fontes energéticas renováveis terem a principal ponderação dentro do cabaz energético do país. No mesmo seguimento, um relatório do ministério das infraestruturas da Suécia dá conta que, em julho de 2019, cerca de 5% do total dos edifícios suecos cumpriu com o requisito de energia quase nula.

No âmbito da melhoria significativa do *score* de eficiência da Grécia, essencialmente na transição de 2013 para 2014 (anos em que a Grécia obteve o segundo melhor *score* de eficiência), e na manutenção como país eficiente em 2019, estes resultados podem ser explicados através da aprovação (por parte da Comissão Europeia) de um programa de políticas denominado de “*National Strategic Reference Framework*”, o qual teve incidência no período correspondente ao espaço temporal entre 2014 e 2020. No âmbito deste programa, constam medidas respeitantes à melhoria da eficiência energética, à construção de infraestruturas ecológicas de grande escala, e a outras intervenções a nível nacional (Forouli et al., 2019). Adicionalmente, o facto deste país se encontrar geograficamente próximo dos seus fornecedores de petróleo permite obter preços de importação CIF relativamente mais atrativos que os seus congéneres.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 3. - Ranking dos scores de eficiência dos países estudados e número de vezes que foram considerados benchmark. Fonte: Elaboração própria.



5.2.2. Decomposição da ineficiência

Na Figura 4 é possível observar a contribuição de cada indicador para a ineficiência registada nos países.

No caso da Itália, no ano de 2013, apesar de o seu *score* estar muito próximo da eficiência, o seu PIB per capita corrigido pela paridade do poder de compra (cerca de 36.300\$) e o peso do petróleo no *mix* energético (aproximadamente 36%) foram os fatores que contribuíram para a ineficiência registada, com igual ponderação.

Segue-se a Alemanha, onde, em 2013, o único fator que contribuiu para ineficiência foi o valor das reservas estratégicas de petróleo (cerca de 142 dias de consumo). No ano de 2014, ainda que de forma muito residual, o peso do petróleo no total das fontes energéticas disponíveis (cerca de 34 %) e as reservas estratégicas (aproximadamente 143 dias de consumo) foram os indicadores que contribuíram para a ineficiência registada. Finalmente, no ano de 2019, à semelhança do que aconteceu em 2013, o único indicador que contribuiu para a ineficiência registada foi o *output* relativo às reservas estratégicas (cerca de 127 dias de consumo).

No que diz respeito à Bélgica, no ano de 2013, as reservas estratégicas (cerca de 133 dias de consumo) foram o fator preponderante no contributo para a ineficiência registada. A percentagem do petróleo dentro do *energy mix* (aproximadamente 40%) também foi um fator que contribuiu para a ineficiência deste país. No ano de 2019, o indicador que contribuiu para a sua situação de país ineficiente foi o valor das reservas estratégicas (cerca de 164 dias de consumo).

No âmbito da avaliação da Grécia, o PIB per capita corrigido pela paridade do poder de compra (cerca de 26.000\$), as reservas estratégicas (sensivelmente 112 dias de consumo) e o peso do petróleo no cabaz das fontes energéticas disponíveis (aproximadamente 46%) foram os fatores que contribuíram para o registo de um *score* de eficiência inferior a um. De entre estes fatores, o mais preponderante foi o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra.

No que concerne a Portugal, no ano de 2013, os indicadores que contribuíram para a obtenção de um *score* de eficiência inferior a um foram o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra, as reservas estratégicas e o peso do petróleo no *energy mix*,

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

os quais apresentaram valores de, aproximadamente, 28.000\$, 122 dias de consumo e 46%, respetivamente. Em 2014, o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra (cerca de 29.000 \$) e as reservas estratégicas (aproximadamente 109 dias de consumo), foram os indicadores que mais pesaram na classificação do país como não eficiente. Finalmente, em 2019, é apresentado como fator mais influente as reservas estratégicas (cerca de 125 dias de consumo), seguindo-se com relativamente a mesma influência o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra (aproximadamente 36.900\$) e o peso do petróleo no total das fontes energéticas disponíveis (45,82%).

Segue-se a Irlanda, onde, em 2013, os indicadores das reservas estratégicas (cerca de 114 dias de consumo), peso do petróleo nas fontes energéticas primárias disponíveis (aproximadamente 51%) e o índice de Shannon-Wiener (0,74) foram aqueles que contribuíram para a situação de ineficiência. Quanto ao ano de 2014, o fator preponderante no contributo para a ineficiência foi o índice de Shannon-Wiener (com um valor de sensivelmente 1). O somatório da influência das reservas estratégicas (cerca de 114 dias de consumo) e da percentagem de petróleo no *energy mix* (cerca de 50 %) foi, em termos práticos, equivalente à contribuição para a ineficiência proporcionada pelo índice de Shannon-Wiener.

No caso da Hungria, em 2013, foi o índice de Shannon-Wiener (cerca de 0,24) o indicador que mais contribuiu para a ineficiência registada, o que demonstra a grande vulnerabilidade que o país enfrenta relativamente à conjugação entre o seu número de fornecedores e a estabilidade política e ausência de terrorismo dos mesmos. Para explicar a ineficiência, existe, ainda, a influência do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra (aproximadamente 24.500\$). Relativamente ao ano de 2014, o índice de Shannon-Wiener (cerca de 0,4224) foi, novamente, o indicador que mais contribuiu para a ineficiência. Para além deste indicador, o PIB *per capita* ajustado ao poder de compra (cerca de 25.600 \$), embora não tão significativamente, também contribuiu para a classificação de ineficiência. Por último, no que concerne ao ano de 2019, o índice de Shannon-Wiener (0,6983) apresenta uma forte contribuição para a ineficiência, seguindo-se as reservas estratégicas (aproximadamente 164 dias de consumo) e o PIB *per capita* ajustado ao poder de compra (cerca de 34.000\$).

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

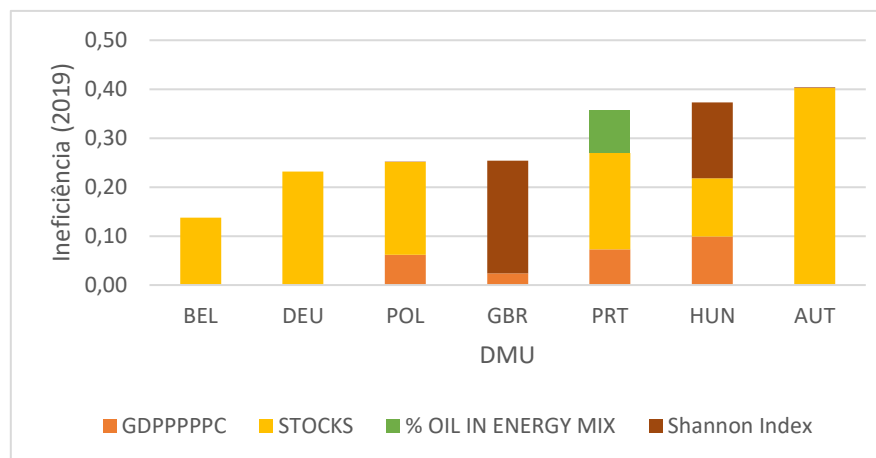
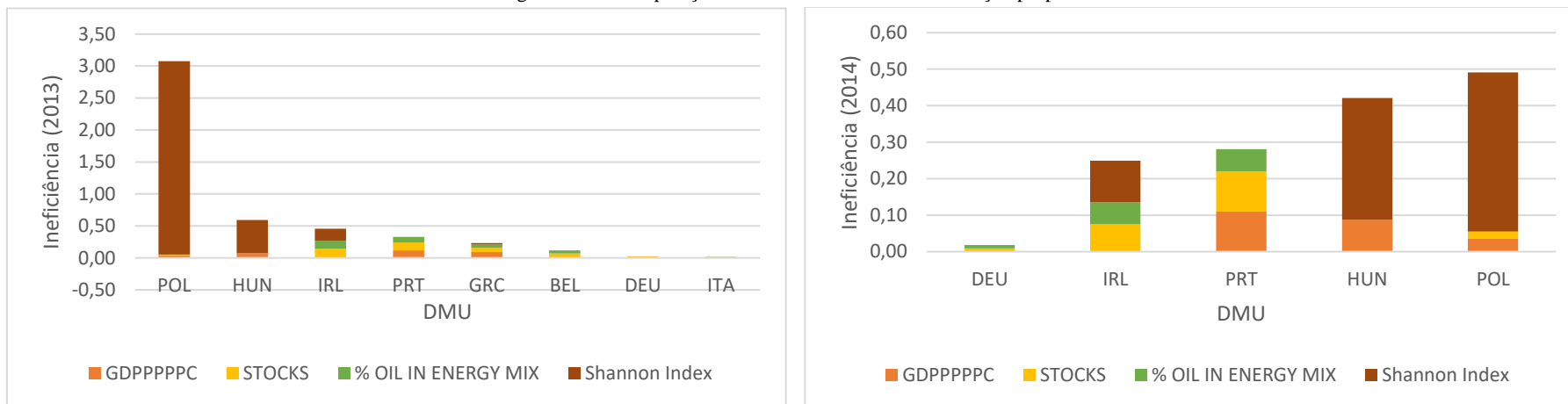
Relativamente à Polónia, no ano de 2013, o fator preponderante na contribuição para a ineficiência foi o índice de Shannon-Wiener (0,0319). O PIB *per capita* ajustado pelo poder de compra (cerca de 24.600\$) e as reservas estratégicas (sensivelmente 119 dias de consumo) também contribuíram para um *score* inferior a um; no entanto, com uma proporção muito menor comparativamente com o índice de Shannon-Wiener. No ano de 2014, as conclusões são muito idênticas às retiradas no ano de 2013, com a exceção de que, para além do PIB *per capita* ajustado pelo poder de compra (cerca de 25.500 \$) as reservas estratégicas de crude (sensivelmente 126 dias de consumo) também apresentaram o seu contributo, ainda que muito residual, comparativamente ao peso do índice de Shannon-Wiener (aproximadamente 0,1738). Finalmente, no que concerne ao ano de 2019, os fatores que contribuíram para a situação de ineficiência foram as reservas estratégicas (fator preponderante, com um valor de, aproximadamente, 118 dias de consumo), o PIB *per capita* ajustado pelo poder de compra (cerca de 34.200\$) e, de forma muito residual, o índice de Shannon-Wiener (0,8404)

Segue-se o Reino Unido, que, em 2019, apresenta como fator que mais contribuiu para a ineficiência registada o índice de Shannon-Wiener (0,7199), e, de forma mais neutral, o PIB *per capita* corrigido pelo poder de compra (cerca de 48.500\$). De acordo com um relatório do UK Energy Research Centre (2019), o *Brexit* (saída do Reino Unido da União Europeia) teve impacto negativo na gestão da oferta e a procura de energia.

Por último, surge o caso austríaco, onde, em 2019, as reservas estratégicas (sensivelmente 106 dias de consumo) foram as principais responsáveis, por toda a ineficiência registada.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 4. - Decomposição da ineficiência. Fonte: Elaboração própria.



5.2.3. Projeções vs valores originais

As Tabelas A.2, A.4 e A.6, em Apêndice, e as Figura 5 e 6 contêm informações sobre as variações percentuais das projeções relativamente aos valores reais para cada indicador dos países ineficientes.

Relativamente ao ano de 2013, na esfera das variações do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, temos Portugal (70,30%), a Grécia (55,86%) e a Hungria (44,04%). Face a estes valores, é possível concluir que os países em questão deveriam apresentar um maior valor do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, para os atuais níveis de consumo de petróleo. No que diz respeito às reservas estratégicas, destacam-se as variações da Irlanda (86,67%), de Portugal (74,61%) e da Bélgica (47,88%). Assim, estes países deveriam aumentar as suas capacidades no âmbito das reservas estratégicas, a fim de apresentarem uma menor vulnerabilidade em períodos onde o consumo, por algum motivo, aumentar rápida e inesperadamente. No que diz respeito ao peso do petróleo no total das fontes energéticas disponíveis, destacam-se as variações observadas na Irlanda (-24,09%), em Portugal (-17,34%) e na Grécia (-10,71%). É possível concluir que estes países devem reduzir o seu consumo de crude em prol do aumento do consumo de outras fontes energéticas à sua disposição. Desse modo, os países reduzem a sua vulnerabilidade e exposição face ao mercado petrolífero e às suas oscilações. Finalmente, é possível concluir que o indicador onde os valores reais e as projeções são mais divergentes é no índice de Shannon-Wiener, sendo que o seu valor registado na Polónia é o que mais se destaca (1.814,77% de variação). É possível concluir que este país apresenta pouca diversidade de fornecedores de crude face a três fatores: primeiramente no âmbito da percentagem de crude importado de cada fornecedor (96,6% do crude importado pela Polónia é proveniente da Rússia, 3,37% tem origem na Noruega e 0,03% no Cazaquistão), isto é, existe uma forte dependência de um fornecedor específico, o que, potencialmente, pode tornar a Polónia um país vulnerável. O número de fornecedores de cada país também é um fator determinante no cálculo do índice de Shannon-Wiener. O facto de este país ter três fornecedores de petróleo, é mais um fator que contribui para a sua vulnerabilidade face ao mercado petrolífero. A Hungria também apresenta uma forte divergência entre o valor das projeções e o valor real, no âmbito do índice de Shannon-Wiener (312,12% de variação). Na sua lista de fornecedores, a Hungria apresenta o Iraque (5,9% das importações) e a Rússia (94,1% das importações de crude), ou seja, existe uma situação

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

de vulnerabilidade face à oferta de petróleo na Hungria. Relativamente ao índice de estabilidade política e ausência de terrorismo (que influencia o resultado do índice de Shannon-Wiener), a Rússia e o Iraque apresentam valores de 22,7% e 4,74%, respetivamente, ou seja, valores baixos que agravam a volatilidade. Há que destacar, ainda, a variação entre as projeções e o valor real do índice de Shannon-Wiener na Irlanda (115,82%). Neste caso, a Irlanda possui quatro fornecedores de petróleo, nomeadamente a Argélia, Líbia, Nigéria e a Noruega, com percentagens de importação de crude de, aproximadamente, 11%, 11,14%, 14,4% e 63,5%, respetivamente. Assim, o baixo índice de Shannon-Wiener deve-se, essencialmente, à forte dependência de crude proveniente da Noruega, ainda que este país apresente um forte índice de estabilidade política e ausência de terrorismo (95,26%).

Segue-se o ano de 2014, onde é possível concluir que, no âmbito das variações no PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, destacam-se Portugal (65,85 %) e Hungria (52,28 %). Relativamente a Portugal, o país registou no ano de 2014 um PIB *per capita* ajustado ao poder de compra correspondente a 28.742,44 \$, apontando a projeção para um valor de 47.669,27 \$. No caso da Hungria, em 2014 foi registado um valor real de 25.642,56 \$, com uma projeção de 39.049,64 \$. Assim, é possível concluir que, face aos restantes indicadores do estudo, os países referidos deveriam ter um PIB *per capita* ajustado ao poder de compra significativamente maior, quando comparado com os seus *benchmarks*. No que concerne às reservas estratégicas, voltam a destacar-se Portugal (66,2 %) e Irlanda (45,09 %). No caso de Portugal, o país registou um valor de reservas estratégicas correspondente a, aproximadamente, 109 dias de consumo. Relativamente à Irlanda, o valor das reservas estratégicas foi de cerca de 114 dias de consumo. Assim, de acordo com os resultados obtidos, Portugal e a Irlanda deveriam ter reservas estratégicas de cerca de 182 e 165 dias de consumo, respetivamente. Desta forma, os países em questão, deveriam aumentar os seus *stocks* estratégicos, a fim de estarem mais bem preparados para eventuais ruturas provenientes dos seus habituais fornecedores. Relativamente aos diferenciais entre os valores reais e as projeções no peso do petróleo no total das fontes energéticas disponíveis, destacam-se os valores obtidos em Portugal (-12,14 %) e na Irlanda (-12,04 %). No caso de Portugal, o petróleo apresentou um peso de cerca de 45 % no total das fontes energéticas disponíveis, valor que espelha um nível de dependência relativamente significativo face à matéria-prima (bem acima da média europeia). No mesmo sentido, a Irlanda registou um peso de cerca de 50 %. Num cenário hipotético,

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

onde o petróleo, subitamente, registasse uma quebra, aproximadamente 50% da energia produzida nos países referidos poderia ficar comprometida. Por último, relativamente à variação entre os valores originais e as projeções, no índice de Shannon-Wiener, destacam-se os valores obtidos para a Hungria (261,41 %) e para a Polónia (200,15 %). No caso da Hungria, o valor é justificado pelo facto de o país ter quatro fornecedores de crude (Azerbaijão, Iraque, Rússia e Arábia Saudita), e dentro desses fornecedores, o Iraque (que fornece cerca de 7 % do petróleo consumido na Hungria) apresenta um baixo índice de estabilidade política e ausência de terrorismo (2,38 numa escala de 0 a 100). O facto de cerca de 90 % do petróleo importado pela Hungria ter sido proveniente da Rússia demonstra um elevado nível de dependência e vulnerabilidade, o qual tem um peso significativo no baixo resultado obtido no índice de Shannon-Wiener húngaro. No que diz respeito à Polónia, o país apresenta quatro fornecedores de petróleo. Tal como a Hungria, a Polónia tem como seu fornecedor o Iraque, país que, como anteriormente descrito, apresenta um baixo índice de estabilidade política e ausência de terrorismo. A forte dependência das importações provenientes da Rússia (cerca de 94%) é outro fator muito influente no baixo índice de Shannon-Wiener registado.

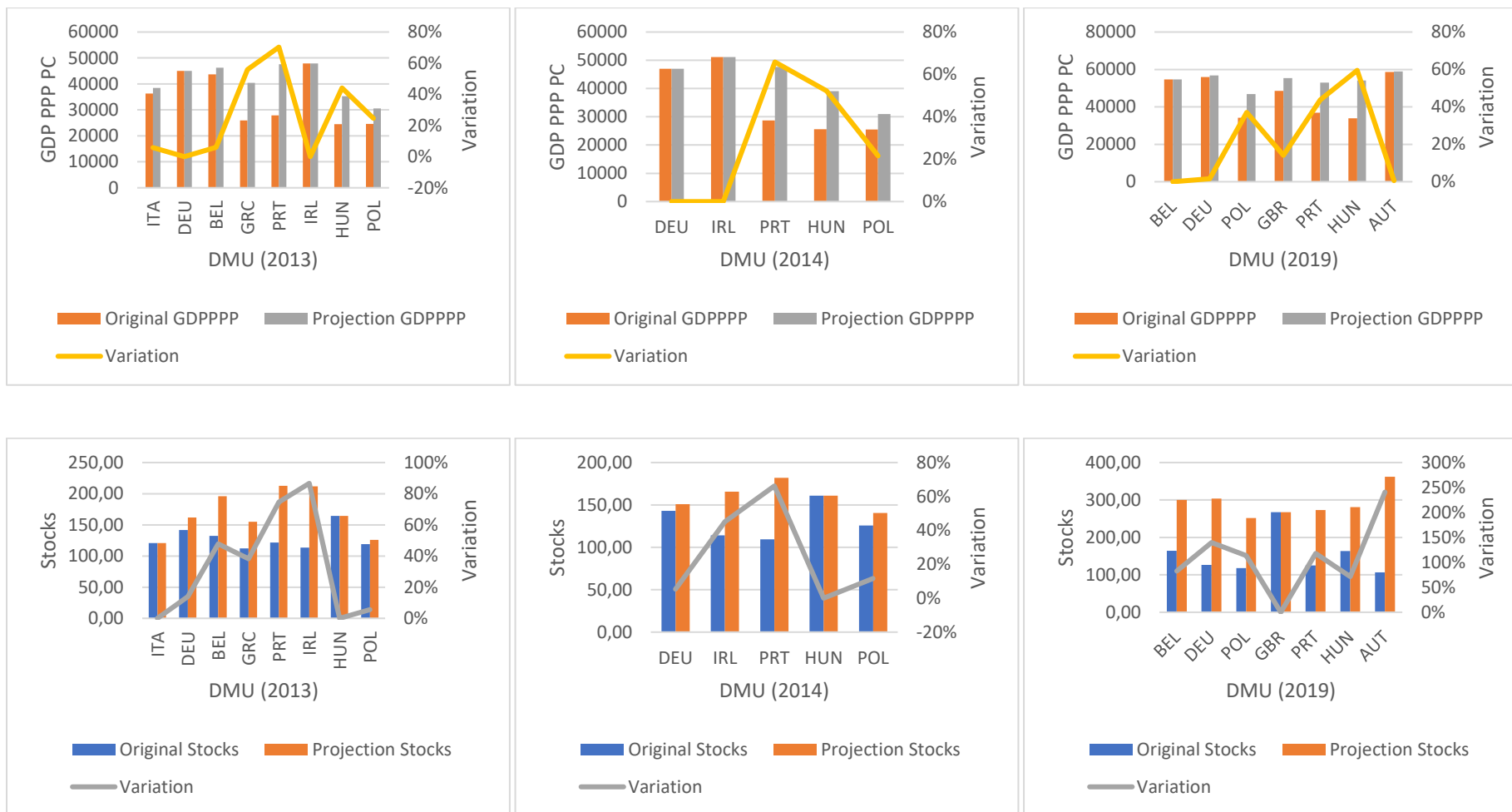
No âmbito do ano de 2019, relativamente às variações registadas entre o PIB *per capita* ponderado pelo poder de compra e as respetivas projeções, surgem com principal notoriedade (pelos piores motivos) a Hungria, Portugal e Polónia. No que diz respeito ao diferencial entre o valor real das reservas estratégicas e as respetivas projeções, destacam-se os valores obtidos na Áustria (240,78 %), Alemanha (139,52 %) e Portugal (118,06 %). Relativamente às variações no âmbito do peso do petróleo no total das fontes energéticas disponíveis, destaca-se o valor obtido para Portugal. Assim, para o país em questão estar menos dependente do consumo de crude, o referido peso deveria ser, idealmente, de 38 %, ao invés dos 46 % registados (variação correspondente a, aproximadamente, -17,42 %). Finalmente, no que concerne ao índice de Shannon-Wiener, é possível concluir que se destacam os valores obtidos para o Reino Unido (138,13 %) e para a Hungria (92,88 %). No que concerne ao Reino Unido (índice de Shannon-Wiener com um valor real de 0,7199), este apresentou, no ano de 2019, doze fornecedores de crude (Argélia, Azerbaijão, Canadá, Dinamarca, Egipto, Gabão, Líbia, Nigéria, Noruega, Rússia, Arábia Saudita e Estados Unidos da América), sendo que dentro desta lista, os fornecedores com maior dimensão de importações foram a Noruega (40,33 % do total das importações) e os EUA (com 25,81 % das importações totais).

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Assim, o facto de, cerca de, 66% das importações totais terem proveniência de somente dois países demonstra um certo nível de vulnerabilidade e exposição face a eventuais ruturas na oferta de crude, ainda que nos referidos países o índice de estabilidade política e ausência de terrorismo apresente valores razoáveis (57,62 e 92,38 para os EUA e Noruega, respetivamente). Relativamente à Hungria, no mesmo sentido dos anos previamente analisados, volta a apresentar um baixo valor no índice de Shannon-Wiener, mais concretamente de 0,6983. Neste ano em questão, o país apresentou uma lista de cinco fornecedores (Colômbia, Iraque, Cazaquistão, Rússia e EUA). Mais uma vez, é notório o peso das importações provenientes da Rússia no total das importações em 2019 (cerca de 76 %). Juntamente com o facto de, cerca de 11,84 % das importações registadas no ano de 2019 terem tido origem no Iraque (país que apresentou, no ano em questão, um índice de estabilidade política e ausência de terrorismo de 1,9), estes foram os factos mais influentes na atribuição de um baixo índice de Shannon-Wiener.

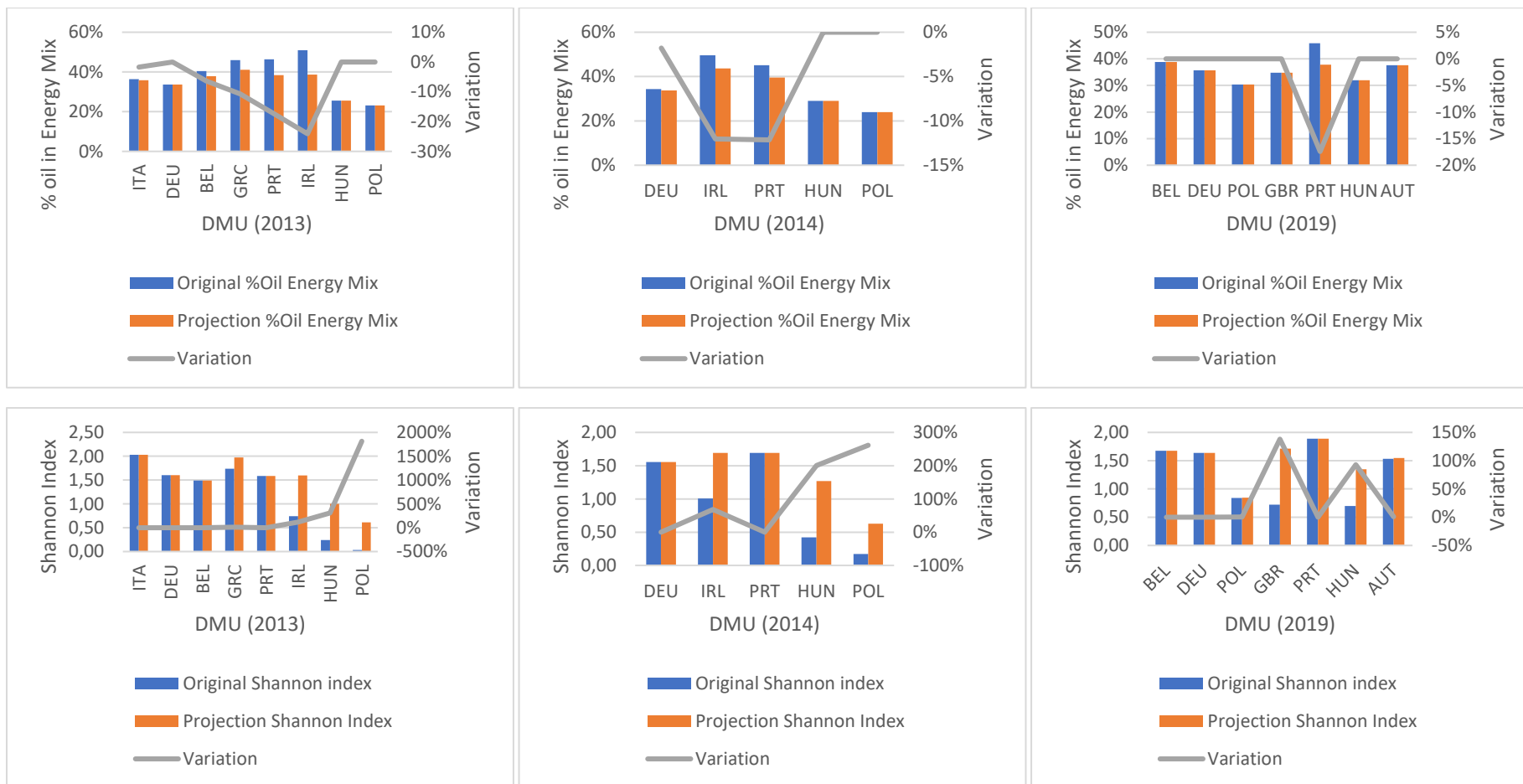
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 5. – Valor original dos indicadores GDP PPP PC e STOCKS vs a correspondente projeção, relativamente a todos os anos estudados. Fonte: Elaboração própria.



Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 6. – Valor original dos indicadores %OIL IN ENERGY MIX e SHANNON INDEX vs a correspondente projeção, relativamente a todos os anos estudados. Fonte: Elaboração própria.



5.2.4. Relação entre os indicadores e o nível de eficiência

No âmbito do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra, é possível observar, em todos os anos analisados, uma relação positiva, ou seja, quanto maior o valor do indicador, maior o valor do *score* de eficiência – Figura 7. Contudo, é notável o decréscimo dessa relação, nas transições de 2013 para 2014, e de 2014 para 2019. A esse acontecimento deve-se o crescimento económico convergente em todos os países estudados. Na transição de 2013 para 2019, o valor do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra aumentou em todos os países da amostra, fruto do referido crescimento económico.

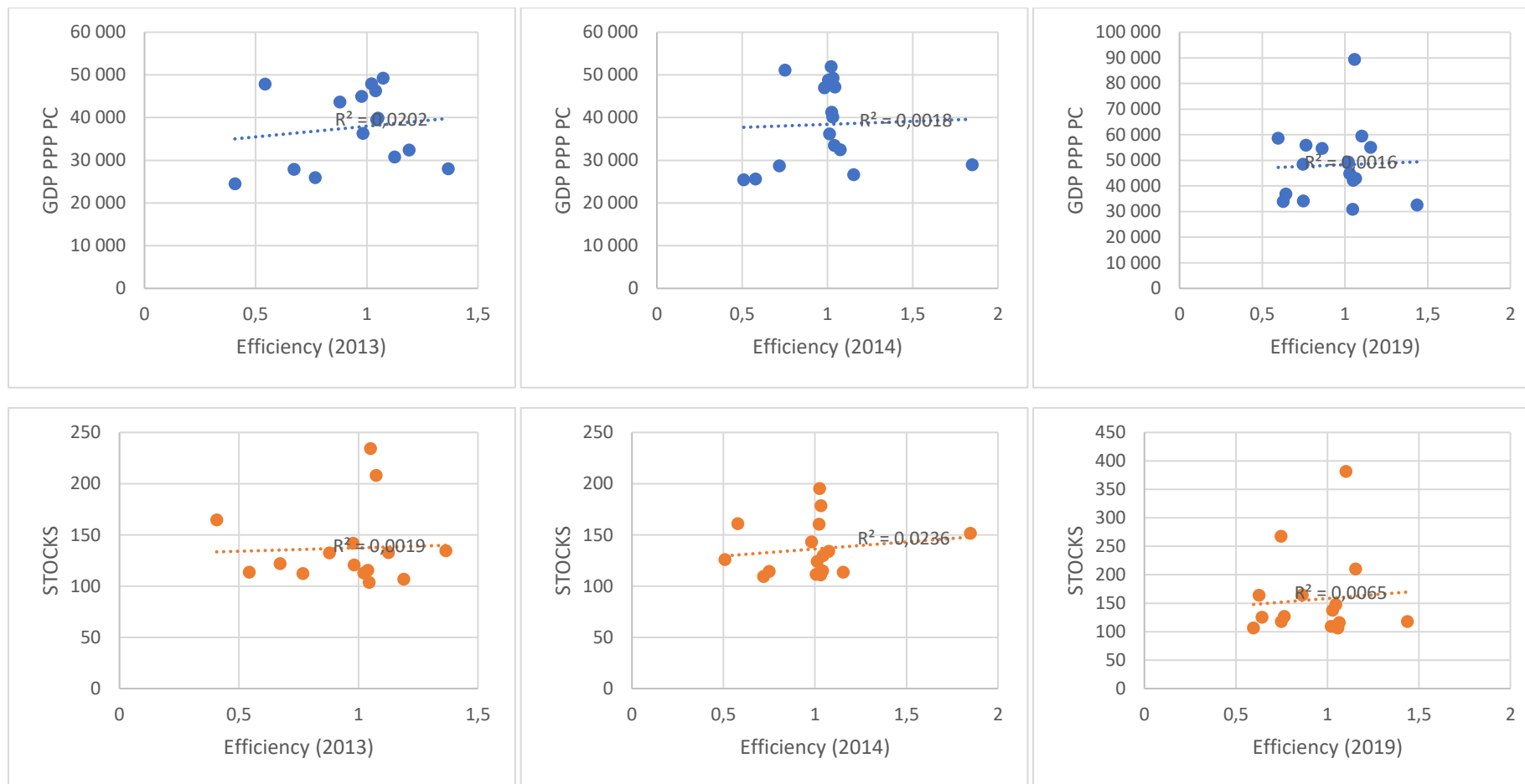
No que concerne à relação entre as reservas estratégicas, esta tem um carácter positivo, em todos os anos estudados – Figura 7. Deste modo, quanto maior o valor das reservas estratégicas de crude, maior o valor do *score* de eficiência. Na transição de 2013 para 2014, houve um aumento positivo da proporção da relação entre o *output* STOCKS e o *score* de eficiência de cada país. No entanto, na transição de 2013 para 2019, foi registada uma degradação na mesma relação.

Segue-se a relação entre a percentagem de petróleo no *energy mix* e o nível de eficiência de cada país – Figura 8. Deste modo, é possível observar, em todos os anos estudados, uma relação negativa entre o peso do crude no total das fontes energéticas primárias disponíveis e o *score* de eficiência. Portanto, quanto menor a proporção do petróleo no *energy mix*, maior o nível de segurança energética relativamente ao petróleo.

Finalmente, no âmbito do *input* não desejável relativo ao índice de Shannon-Wiener, é possível constatar que, no ano de 2013, a relação entre o referido indicador e o nível de eficiência de cada país apresentou um carácter positivo, isto é, quanto maior o valor do índice de Shannon-Wiener, maior o *score* de eficiência – Figura 8. Em sentido oposto, nos anos de 2014 e 2019, essa mesma relação apresentou um carácter negativo, ou seja, quando maior o valor do índice de Shannon-Wiener, menor o valor do *score* de eficiência de cada país.

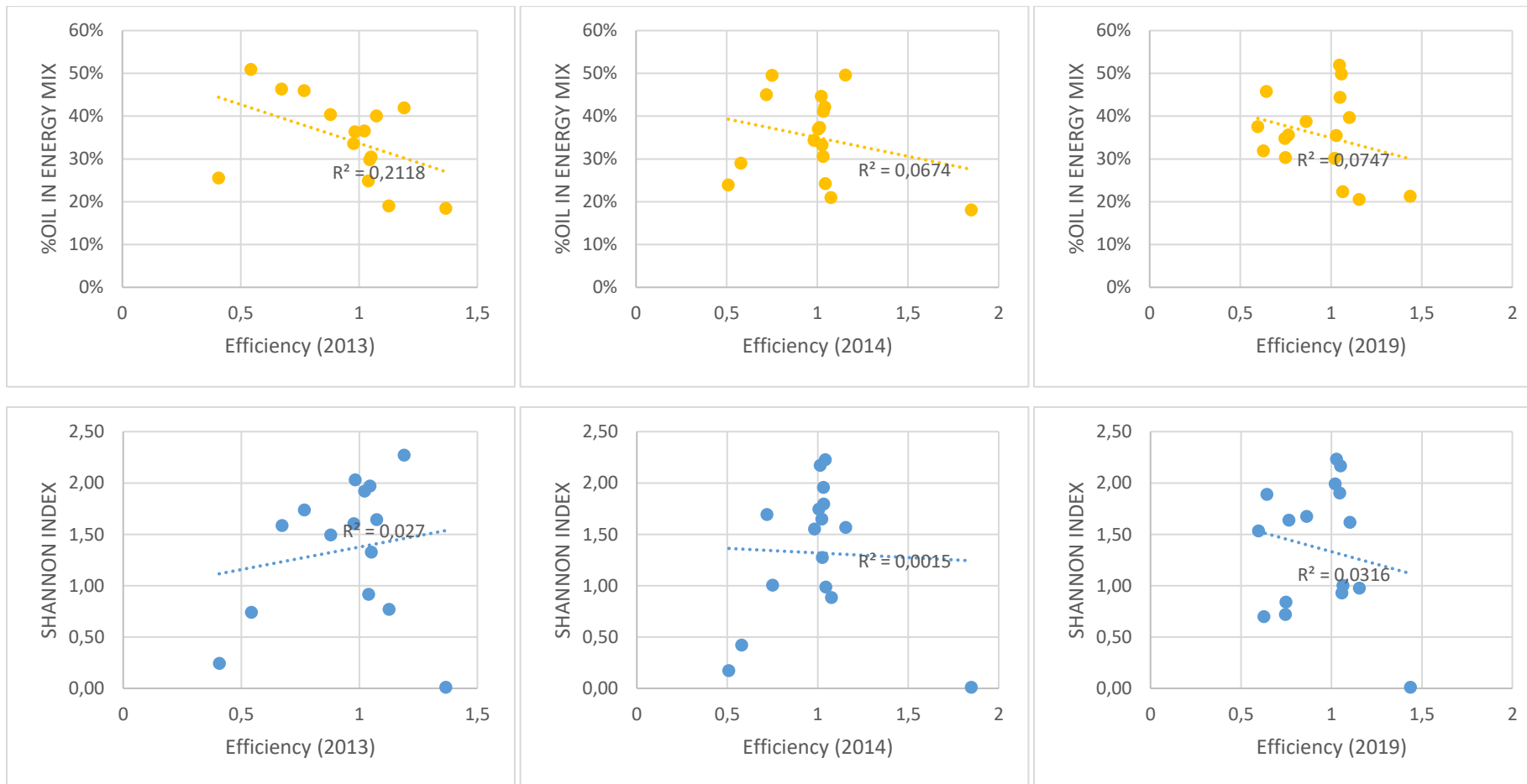
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 7. – Valor dos indicadores GDP PPP PC e STOCKS vs níveis de eficiência, relativamente a todos os anos estudados. Fonte: Elaboração própria.



Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 8. – Valor dos indicadores %OIL IN ENERGY MIX e SHANNON INDEX vs níveis de eficiência, relativamente a todos os anos estudados. Fonte: Elaboração própria.



5.3. Análise de Robustez

Nas Tabelas A.8, A.9 e A.10, em Apêndice, é possível fazer a comparação dos *scores* de eficiência originalmente obtidos relativamente aos *scores* obtidos com as perturbações introduzidas aos fatores de 5% e 10%, respetivamente.

De acordo com os resultados obtidos, e que constam na Figura 9, é possível concluir que, no ano de 2013, se todos os indicadores forem perturbados em 5%, os únicos países robustamente eficientes são a República Checa, França, Países Baixos, Espanha, Suécia e Reino Unido. Se a perturbação de todos os indicadores for em 10%, todos os países passam a ser apenas potencialmente eficientes.

Em 2014, se dos indicadores forem perturbados em 5%, os países que permanecem robustamente eficientes são a Eslováquia, a Suécia e o Reino Unido. Se a perturbação de todos os indicadores for em 10%, todos os países passam, uma vez mais, a ser apenas potencialmente eficientes.

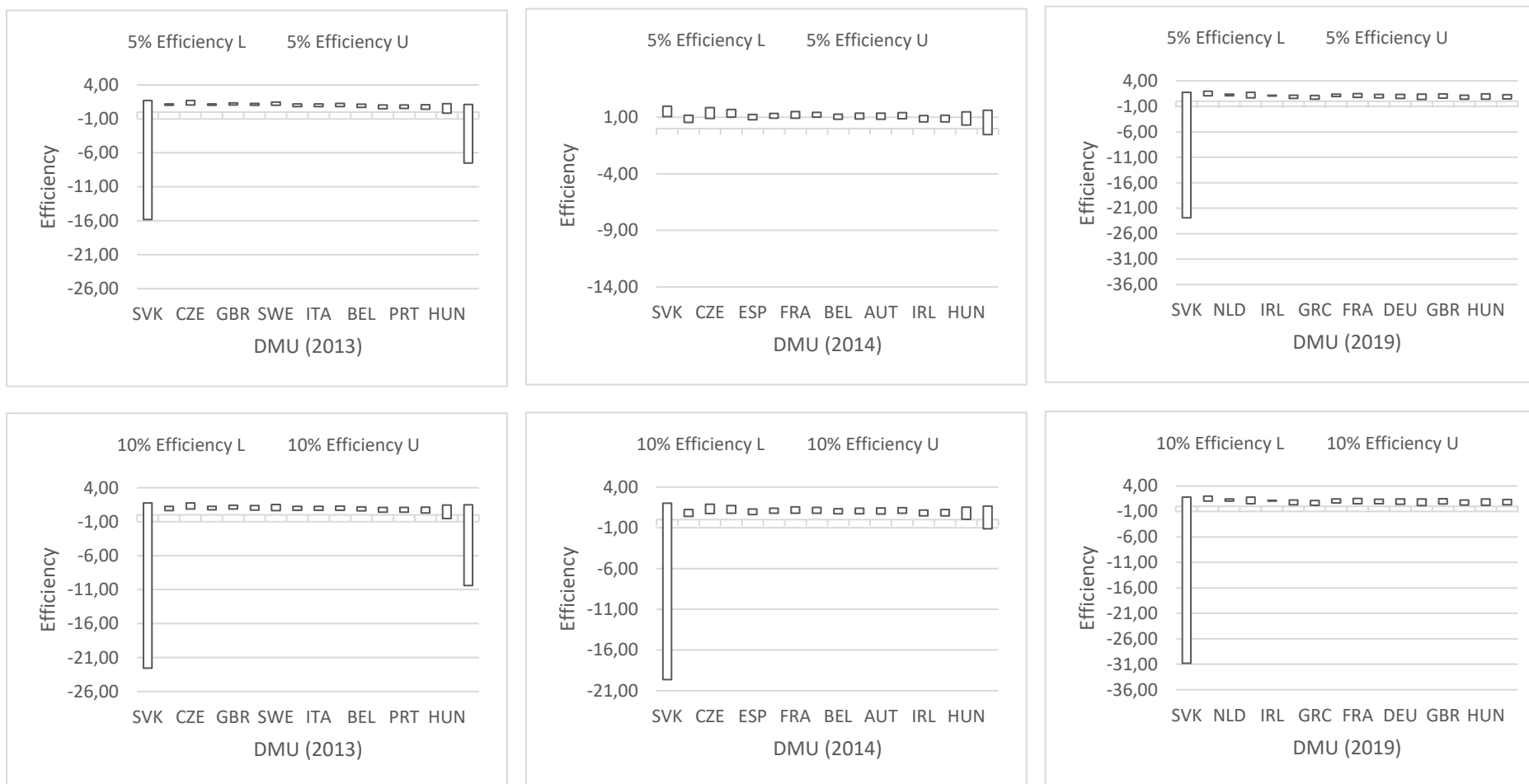
Finalmente, no que concerne ao ano de 2019, se forem consideradas perturbações de 5% e 10% apenas a Irlanda, a Holanda e Suécia são robustamente eficientes, sendo os restantes países potencialmente eficientes.

De notar que a Suécia foi o único país robustamente eficiente em todos os cenários de perturbação dos fatores de avaliação e anos considerados.

De salientar, também, que a Eslováquia, apesar de ter sido considerada o país com melhores resultados (em todos os anos estudados), nos anos de 2013 e de 2019 foi o país que apresentou os piores *scores* de eficiência, se forem consideradas penalizações dos fatores de avaliação em 5% e 10%, respetivamente (no ano de 2014, apenas com a degradação de todos os indicadores em 10% é que o país em questão apresentou o pior *score* desse ano). Deste modo, os resultados obtidos para a Eslováquia não são robustos, contrariamente com o que foi registado na Suécia. Assim, é possível concluir que a Eslováquia mostra alguma vulnerabilidade a eventuais de acontecimentos económicos e políticos que influenciem negativamente os seus indicadores

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 9. – Resultados da análise de robustez, relativamente a todos os anos analisados. Fonte: Elaboração própria.



5.4. Análise de Produtividade

Nas Figuras 10, 11, 12 e 13 constam informações relativamente aos ganhos totais de produtividade (TFP), e à sua composição de acordo com os ganhos de eficiência (EFFCH) e/ou ganhos provenientes do progresso tecnológico (TCHCH), para todos os anos analisados. A análise é realizada país por país.

De acordo com as Figuras 10 e 11, é possível constatar que o país que obteve mais ganhos de produtividade, na transição de 2013 para 2014 foi a Polónia, sendo que o progresso tecnológico desempenhou o papel mais significativo na obtenção de ganhos de produtividade. De forma mais detalhada, na Figura 11, é notória a grande influência do índice de Shannon-Wiener no progresso tecnológico. Recorrendo a um paralelismo com os valores do referido índice, para a Polónia, constata-se que houve uma oscilação positiva do índice, passando de 0,0319 (2013) para 0,1738 (2014). Contribuíram para esta alteração os factos de a Polónia ter contratado mais um fornecedor de crude, o Iraque, e de ter aumentado a sua proporção de importações provenientes do Cazaquistão (de 36.000 barris em 2013 para 4.277.000 barris em 2014). Deste modo, conseqüentemente, a proporção das importações com origem na Rússia diminuiu. Quanto aos ganhos de eficiência, o seu aumento é, em termos gerais, explicado pela melhoria do índice de Shannon-Wiener. Do que é possível apurar, nas Figuras 12 e 13, a Polónia foi, novamente, o país que mais ganhos de produtividade obteve, na transição de 2014 para 2019. Estes ganhos tiveram origem essencialmente no notório progresso tecnológico registado, o qual foi altamente influenciado pela subida do índice de Shannon-Wiener de 0,1738 (2014) para 0,8404 (2019). Esta oscilação positiva do índice de Shannon-Wiener pode ser explicada pelo aumento do número de fornecedores de petróleo, de quatro (2014) para sete (2019), devido à inclusão de Angola, Nigéria, Arábia Saudita e Reino Unido, e exclusão do Iraque. O crescimento do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra e das reservas estratégicas tiveram também influência no referido progresso tecnológico. O referido crescimento do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra pode ter tido sido influenciado pelo crescimento do consumo privado de 245.628,2 (2014) para 306.827,3 (2019) milhões de euros, pelo aumento do investimento público de 74.902,4 (2014) para 96.135,8 (2019) milhões de euros, pela expansão da formação bruta de capital fixo de 81.110,1 (2014) para 97.622,6 (2019) milhões de euros, e pelo aumento das exportações

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

(de bens e serviços) de 47,2% (2014) para 55,4% (2019) do PIB. Em termos de ganhos de eficiência, o crescimento do índice de Shannon-Wiener volta a ter um peso positivo.

Segue-se a Hungria, país no qual também se registam progresso tecnológico e ganhos de eficiência, na transição de 2013 para 2014. À semelhança do que acontece na Polónia, o progresso tecnológico supera, significativamente, os ganhos de eficiência. Relativamente ao progresso tecnológico, o principal contributo é representado pela melhoria do índice de Shannon-Wiener (em 2013 era de 0,2433, e em 2014 foi 0,4224). Esta melhoria do índice de Shannon-Wiener deve-se ao facto de, na transição de 2013 para 2014, a Hungria ter aumentado o seu número de fornecedores, de três para cinco, através da inclusão do Azerbaijão e da Arábia Saudita. Quanto aos ganhos de eficiência, regista-se também a grande influência do índice de Shannon-Wiener. É notória ainda, a influência do PIB *per capita* ponderado pelo poder de compra, o qual regista uma subida de, cerca de 24.500 \$ (2013) para cerca de 25.650 \$ (2014). O aumento do investimento público de 20.164,7 (2013) para 21.246,9 (2014) milhões de euros, o aumento da Formação Bruta de Capital Fixo, de 21.261,9 (2013) para 23.388,5 (2014) milhões de euros, a subida do nível de exportações (totais) de 85,6 % (2013) para 87,3 % (2014) do PIB podem ser tidos em conta para justificar o referido aumento do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra. Relativamente à transição de 2014 para 2019, o progresso tecnológico sobrepõe-se aos ganhos de eficiência, em grande parte, devido ao aumento do índice de Shannon-Wiener. Este aumento do índice de Shannon-Wiener teve origem no facto do país ter aumentado o seu número de fornecedores, de quatro (2014) para cinco (2019), através da inclusão dos EUA, do Cazaquistão e da Colômbia, e da exclusão do Azerbaijão e da Arábia Saudita. Desde modo, o nível de dependência das importações provenientes da Rússia (principal fornecedor) desceu em cerca de 14,81 %.

No caso da Irlanda, na transição de 2013 para 2014, o progresso tecnológico continua a ser o fator que mais contribui para os ganhos de produtividade. Em termos de progresso tecnológico, este é maioritariamente composto pela evolução positiva do índice de Shannon-Wiener, o qual apresentou um aumento de 0,74 (2013) para 1,01 (2014). Esta variação positiva do índice na transição de 2013 para 2014, deveu-se ao aumento do número de fornecedores, de quatro (2013) para cinco (2014), através da inclusão do Canadá. Relativamente aos ganhos de eficiência, a influência do índice de Shannon-Wiener, do peso do crude no total das fontes energéticas disponíveis e das reservas estratégicas foi idêntico. Assim, o peso do crude no total das fontes energéticas

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

influenciou o progresso tecnológico através do decréscimo da vulnerabilidade face a este produto, passando o referido peso de 50,94 % (2013) para 49,59 % (2014). As reservas estratégicas evoluíram positivamente de 113,5 (2013) para 114,25 dias de consumo (2014). Na transição de 2014 para 2019, os ganhos de eficiência são, praticamente, equivalentes aos ganhos provenientes da evolução tecnológica.

No âmbito da Grécia, na transição de 2013 para 2014, os ganhos de produtividade registados devem-se exclusivamente aos ganhos de eficiência. Assim, todos os indicadores utilizados neste estudo (PIB *per capita* corrigido pelo poder de compra, reservas estratégicas, peso do crude no total das fontes energéticas disponíveis e índice de Shannon-Wiener) contribuíram para o aumento do nível de eficiência do país, na transição de 2013 para 2014. O aumento do peso do crude no *energy mix* pode ter sido influenciado pelo aumento da produção das refinarias do país, de 399.000 (2013) para 416.000 (2014) barris por dia. Contudo, foi registado um efeito negativo nos ganhos de progresso tecnológico, o que se traduz num retrocesso, o qual foi motivado pela degradação do índice de Shannon-Wiener, de 1,738 (2013) para 1,566 (2014), a qual pode ser justificada através da redução do número de fornecedores, de nove (2013) para oito (2014), e também do aumento da proporção de importações provenientes do Kazaquistão (variação positiva de 86,68 %, de 2013 para 2014), do Egipto (variação positiva de 52,84 %, de 2013 para 2014) e do Iraque (oscilação positiva de 50,36%, de 2013 para 2014). No que concerne à transição de 2014 para 2019, foram registados, simultaneamente, progresso tecnológico e perdas de eficiência. Quanto à evolução tecnológica, o indicador que mais contribuiu para a mesma foi o *output* relativo às reservas estratégicas, as quais registaram um aumento de 113,5 (2014) para 147,42 (2019) dias de consumo.

Quanto ao caso da Bélgica, na transição de 2013 para 2014, são registados progresso tecnológico e ganhos de eficiência, sendo que estes últimos sobrepõem-se à evolução tecnológica. Deste modo, os ganhos de eficiência devem-se, essencialmente, ao aumento das reservas estratégicas, de 132,5 (2013) para 160,33 (2014) dias de consumo. No que concerne à transição de 2014 para 2019, foram registados, simultaneamente, progresso tecnológico e perdas de eficiência. No caso do progresso tecnológico, o indicador preponderante para tais resultados foi o *output* relativo às reservas estratégicas, as quais aumentaram de 160,33 (2014) para 164,42 (2019) dias de consumo.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Segue-se a Suécia, onde, na transição de 2013 para 2014, o país registou progresso tecnológico, essencialmente devido ao indicador da percentagem de petróleo no *energy mix*, que viu o seu valor reduzido de 24,92 % (2013) para 24,25 % (2014). Existiu também a influência positiva, ainda que bastante ligeira, do *output* das reservas estratégicas, o qual registou uma alteração de 115,33 (2013) para 129,75 dias de consumo (2014). Segue-se a transição de 2014 para 2019, onde tiveram lugar, de forma relativamente equilibrada, quer progresso tecnológico, quer ganhos de eficiência. A evolução tecnológica foi motivada, essencialmente, pela diminuição do peso do crude dentro do total das fontes energéticas disponíveis, na transição de 2014 (24,25 %) para 2019 (20,58 %). Esta diminuição pode ter sido motivada pelo decréscimo da produção nas refinarias do país, de 380.000 (2014) para 337.000 (2019) barris por dia, bem como o aumento da percentagem de energias renováveis e biocombustíveis no *energy mix*, de 36 % (2014) para 40,95 % (2019). No caso dos ganhos de eficiência, estes foram, em grande parte, influenciados pelo crescimento das reservas estratégicas, de 129,75 (2014) para 210,25 (2019) dias de consumo.

Relativamente a Portugal, na transição de 2013 para 2014, os ganhos de produtividade obtidos deveram-se, quase que exclusivamente, ao progresso tecnológico. Assim, a subida do PIB *per capita* corrigido pelo poder de compra foi o indicador que contribuiu mais significativamente para o referido progresso tecnológico (em 2013 o seu valor foi de, cerca de, 28.000 \$, e em 2014 de, cerca de, 28.750 \$). A referida subida do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra pode ser explicada através do aumento do consumo privado de 111.538,1 (2013) para 114.449,6 (2014) milhões de euros, da expansão da formação bruta de capital fixo de 25.150,3 (2013) para 26.012,7 (2014) milhões de euros, e do aumento das exportações (de bens e serviços) de 39,6% (2013) para 40,2% (2014) do PIB. Ainda assim, as reservas estratégicas e o peso do crude no *energy mix* tiveram também uma influência positiva. Quanto à transição de 2014 para 2019 foram registados evolução tecnológica e perdas de eficiência. O indicador que mais contribuiu para tal situação foi o *output* relativo às reservas estratégicas, que registou um aumento de 109,42 (2014) para 125,33 (2019) dias de consumo.

Quanto à Eslováquia, na transição de 2013 para 2014, os ganhos de produtividade tiveram como base a influência do progresso tecnológico e dos ganhos de eficiência. Os indicadores relativos às reservas estratégicas e ao peso do crude dentro do total das fontes energéticas disponíveis foram os responsáveis pelos ganhos referidos. No que concerne à

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

transição de 2014 para 2019, os ganhos de eficiência sobrepuseram-se à evolução tecnológica. O peso do petróleo no *energy mix* foi o indicador que mais contribuiu para os ganhos de eficiência registados. Quanto ao progresso tecnológico, este teve a influência do crescimento do PIB *per capita* ponderado pelo poder de compra, de, cerca de, 29.900 \$ (2014) para, cerca de, 32.500 \$ (2019). O referido crescimento do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra pode ser explicado através do aumento do consumo privado de 41.995,1 (2014) para 53.195,5 (2019) milhões de euros, do crescimento do investimento público de 14.017,2 (2014) para 18.477,3 (2019) milhões de euros, da expansão da formação bruta de capital fixo de 15.570,2 (2014) para 20.183,8 (2019) milhões de euros, e do aumento do nível das exportações (de bens e serviços) de 91,5 % (2014) para 92,4 % (2019) do PIB.

No que concerne à Alemanha, na transição de 2013 para 2014, registam-se, somente, ganhos no âmbito do progresso tecnológico, os quais tiveram lugar graças ao aumento do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, às reservas estratégicas e à percentagem de crude no *energy mix*. Relativamente ao aumento do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, este pode ter aumentado através do crescimento do consumo privado de 1.533.784 (2013) para 1.563.899 (2014) milhões de euros, do aumento do investimento público de 551.894 (2013) para 573.455 (2014) milhões de euros, do aumento da formação bruta de capital fixo de 559.500 (2013) para 586.665 (2014) milhões de euros, do aumento das exportações (de bens e serviços) de 45,4 % (2013) para 45,6 % (2014) do PIB, e também da diminuição das importações (de bens e serviços) de 39,7 % (2013) para 39 % (2014) do PIB. No caso da transição de 2014 para 2019, o país registou um progresso tecnológico notável, contudo, em simultâneo, ocorreram significativas perdas de eficiência, as quais foram motivadas pela descida acentuada das reservas estratégicas, de 143,17 (2014) para 126,67 (2019) dias de consumo. Do lado do progresso tecnológico, o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra e o índice de Shannon-Wiener foram os indicadores que contribuíram para tal evolução.

No caso dos Países Baixos, na transição de 2013 para 2014, no âmbito da produtividade, ocorreram, simultaneamente, perdas de eficiência e progresso tecnológico, sendo que este último supera as perdas de eficiência. Assim, as principais motivações para o referido progresso foram o PIB *per capita* ajustado ao poder de compra e as reservas estratégicas. Apesar disto, ainda relativamente ao progresso tecnológico, é perceptível, na figura 11, um ligeiro efeito negativo do índice de Shannon-Wiener. Relativamente à transição de 2014

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

para 2019, os ganhos de produtividade tiveram origem, de forma praticamente equivalente, nos ganhos de eficiência e no progresso tecnológico. Assim, as reservas estratégicas foram a principal motivação para os ganhos de eficiência registados. Quanto à evolução tecnológica, esta foi motivada, essencialmente, pelo crescimento do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra de cerca de 49.300 \$ (2014) para cerca de 59.500 \$ (2019). No que concerne ao crescimento do PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra, este pode ser justificado através do aumento do consumo privado de 304.224 (2014) para 353.547 (2019) milhões de euros, da expansão do investimento público de 172.465 (2014) para 200.134 (2019) milhões de euros, do crescimento da formação bruta de capital fixo de 118.138 (2014) para 172.808 (2019) milhões de euros, e do aumento do nível de exportações (de bens e serviços) de 80,6 % (2014) para 82,5 % (2019) do PIB.

A Itália e a Áustria não registaram qualquer ganho nem perda de produtividade significativos, na transição de 2013 para 2014. Relativamente a Itália, na transição de 2014 para 2019, os ganhos de produtividade foram pouco significativos, sendo compostos, essencialmente, por progresso tecnológico. Por outro lado, surge a transição de 2014 para 2019 na Áustria, onde se regista um forte progresso tecnológico, mas, ao mesmo tempo, também perdas de eficiência acentuadas. As reservas estratégicas foram o indicador mais influente nesta situação, através do seu decréscimo de 111,5 (2014) para 106,33 (2019) dias de consumo.

No caso da França, na transição de 2013 para 2014, o país registou uma perda de eficiência pouco acentuada, motivada pelo decréscimo do índice de Shannon-Wiener, de 1,9713 (2013) para 1,9581 (2014). Segue-se a transição de 2014 para 2019, na qual se regista progresso tecnológico.

Quanto ao Reino Unido, na transição de 2013 para 2014 não se registam ganhos totais de produtividade significativos. No entanto, na transição de 2014 para 2019, a proporção do progresso tecnológico e das perdas de eficiência, foi praticamente a mesma da registada na Alemanha. No entanto, o principal motivo das perdas de eficiência foi o decréscimo acentuado do índice de Shannon-Wiener, de 1,2735 (2014) para 0,7199 (2019). Este decréscimo no valor do índice de Shannon-Wiener pode ser explicado através da significativa diminuição do número de fornecedores, de dezoito (2014) para doze (2019), bem como através do facto de, no ano de 2019, 65,41 % do total das importações de

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

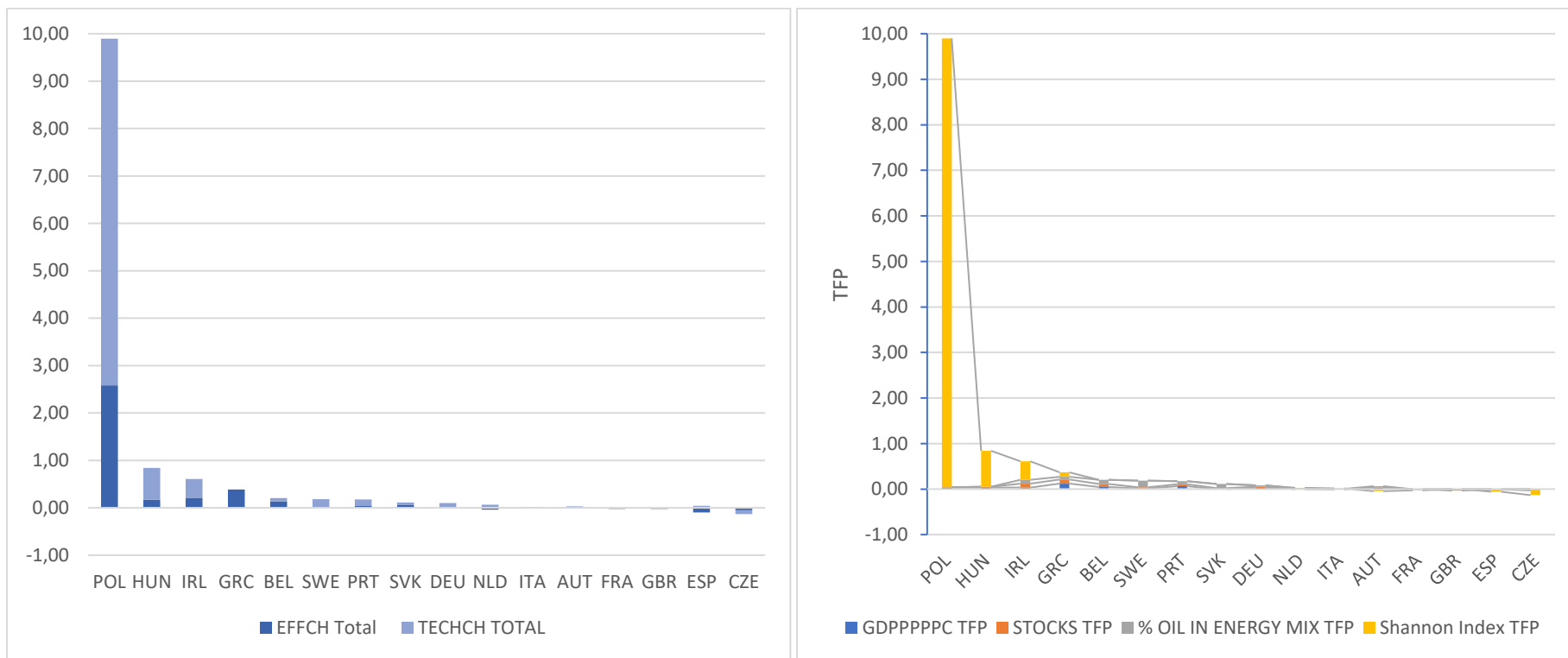
petróleo ter origem nos EUA (25,53 %) e na Noruega (39,88 %). Como referido na secção 5.2.2. (Decomposição da ineficiência), o Brexit pode ter influenciado a redução do número de fornecedores de petróleo do Reino Unido. Em termos de evolução tecnológica, esta foi motivada, essencialmente, pelos indicadores relativos ao PIB *per capita* ajustado ao poder de compra e às reservas estratégicas.

No que concerne à Espanha na transição de 2013 para 2014, foram registadas perdas de produtividade, exclusivamente ponderada pelas perdas de eficiência. As referidas perdas de eficiência foram consequência da ligeira degradação do índice de Shannon-Wiener, na transição de 2013 (2,2725) para 2014 (2,228). No caso da transição de 2014 para 2019, foi registada somente uma evolução tecnológica. Este progresso foi motivado, de forma relativamente equivalente, por todos os indicadores utilizados.

Quanto à República Checa, este foi o país onde se registou uma maior perda de produtividade, fruto de um retrocesso tecnológico e de perdas de eficiência, na transição de 2013 para 2014. Os indicadores responsáveis por tais conclusões foram o peso do crude no *energy mix* e o índice de Shannon-Wiener. O aumento da percentagem do crude dentro do total das fontes energéticas disponíveis pode, eventualmente, ser explicado através do aumento da produção das refinarias do país em questão, de 134.000 (2013) para 151.000 (2014) barrís por dia. No que diz respeito à transição de 2014 para 2019, o país registou uma evolução tecnológica, a qual foi motivada, essencialmente, pelos indicadores do PIB *per capita* ajustado ao poder de compra, reservas estratégicas e percentagem do petróleo dentro do *energy mix*. Relativamente ao crescimento do PIB *per capita* ponderado pelo poder de compra, este pode ser uma consequência do aumento do consumo privado de 76.265,6 (2014) para 105.623 (2019) milhões de euros, do aumento do investimento público de 30.510,4 (2014) para 44.149,6 (2019) milhões de euros, do crescimento da formação bruta de capital fixo de 40.092,3 (2014) para 61.068,3 (2019) milhões de euros, e do decréscimo do nível de importações (de bens e serviços) de 75,6 % (2014) para 67,9 % (2019) do PIB.

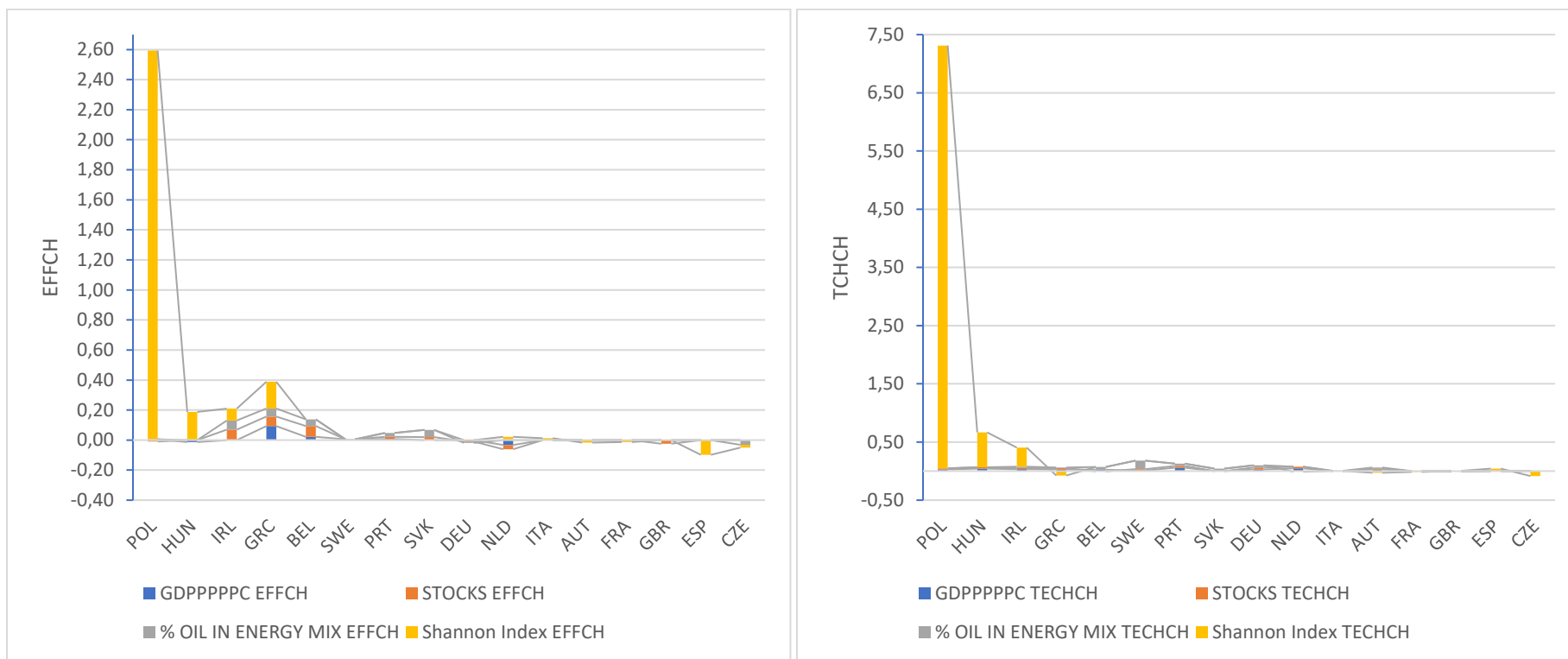
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 10. – Ganhos totais de produtividade de acordo com os ganhos de eficiência e progresso tecnológico (à esquerda), e de acordo com cada output e input utilizados (à direita), na transição de 2013 para 2014. Fonte: Elaboração própria.



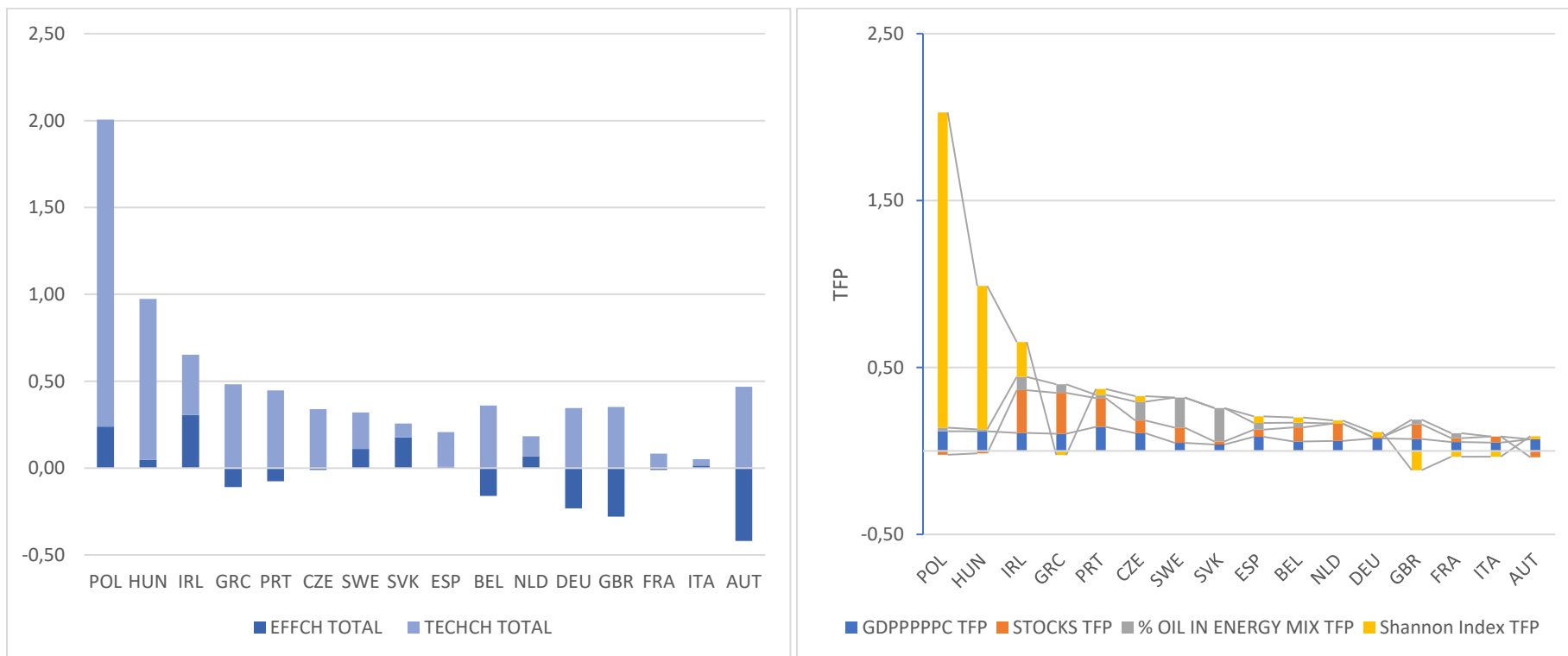
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 11. – Ganhos de eficiência de acordo com cada output e input utilizados (à esquerda), e ganhos provenientes do progresso tecnológico segundo cada output e input utilizados (à direita), na transição de 2013 para 2014. Fonte: Elaboração própria.



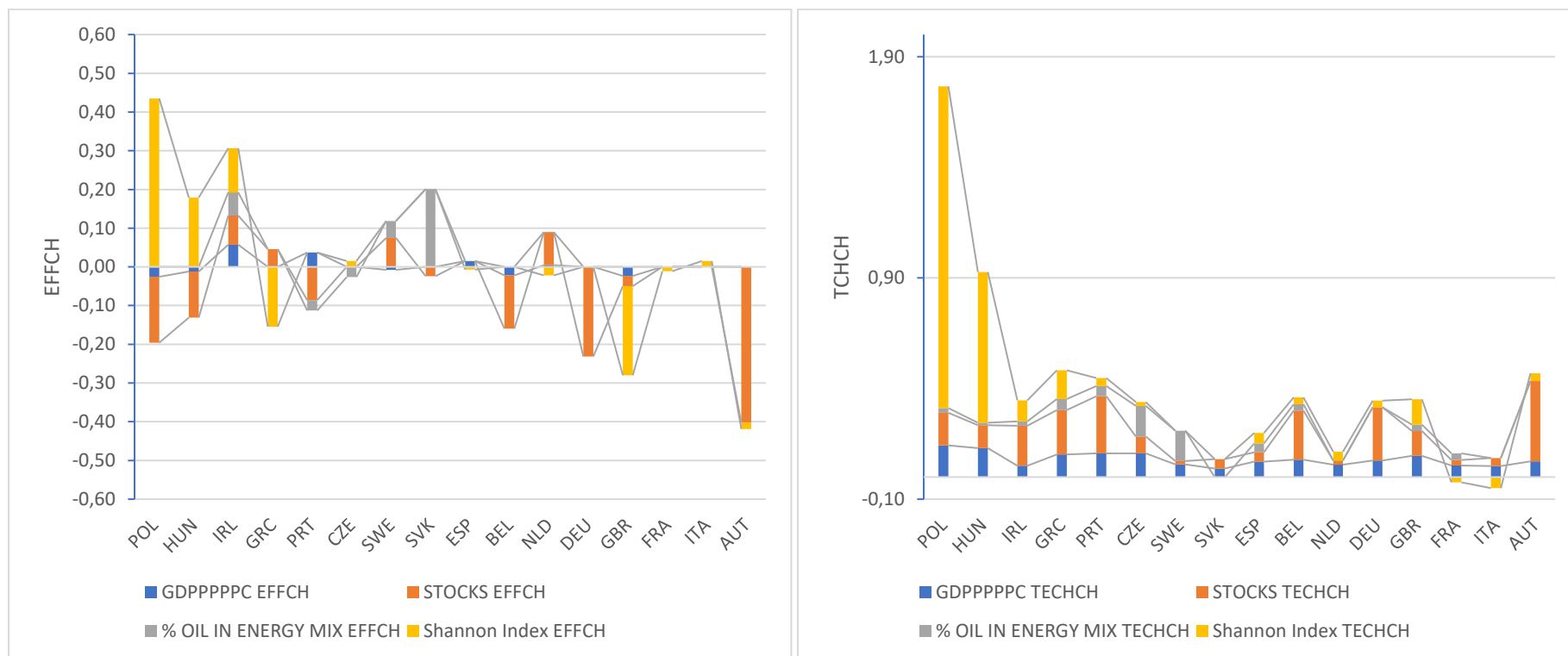
Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 12. - Ganhos totais de produtividade de acordo com os ganhos de eficiência e progresso tecnológico (à esquerda), e de acordo com cada output e input utilizados (à direita), na transição de 2014 para 2019. Fonte: Elaboração própria.



Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Figura 13. - Ganhos de eficiência de acordo com cada output e input utilizados (à esquerda), e ganhos provenientes do progresso tecnológico segundo cada output e input utilizados (à direita), na transição de 2014 para 2019. Fonte: Elaboração própria.



6. Conclusão

Atualmente, o petróleo possui ainda um papel preponderante no *mix* energético europeu.

Neste âmbito, a segurança energética e a respetiva ameaça permanente, assumem um papel proeminente na agenda política europeia. De facto, com as crescentes ameaças geopolíticas que os grandes produtores enfrentam, as flutuações dos preços de vários produtos energéticos e as perturbações no fornecimento de grandes fornecedores, a UE considera fundamental que a segurança energética dos países nunca seja comprometida. Por outro lado, a crescente dependência da UE de um número limitado de fornecedores de energia, nomeadamente da Rússia, incentivou a adoção de uma nova estratégia que visa diversificar as fontes de abastecimento europeias.

Deste modo, a literatura tem sido prolífica na proposta de indicadores para efetuar a avaliação da vulnerabilidade dos países às crises energéticas (e.g. Kruyt et al., (2009), Valdés (2018), Ang et al. (2015a), Erahman et al. (2016), Apergis et al. (2015), Bandura (2008) e Gasser (2020)).

Não obstante, a panóplia de indicadores propostos na literatura para avaliar a segurança energética apresenta ainda falta de transparência e poucos contemplam a análise de sensibilidade ou robustez aos resultados obtidos (Gasser, 2020).

Neste contexto, a presente dissertação tem como principal objetivo avaliar a vulnerabilidade energética de quinze países importadores líquidos de petróleo da UE, juntamente com o Reino Unido, tendo-se considerado como horizonte temporal os anos de 2013, 2014 e 2019. O período considerado na análise contempla o impacto da recente e inesperada queda do preço *spot* do crude e o ano pré pandemia (por ser o ano para o qual havia dados mais recentes).

Neste âmbito, a metodologia DEA afigura-se particularmente útil, na medida em que permite contemplar em simultâneo diferentes fatores de avaliação que concorrem para segurança do abastecimento do petróleo, identificando os *bechmarks* (em termos de melhores práticas). Por outro lado, com base nesta ferramenta de avaliação é ainda possível determinar os ajustamentos que é necessário encetar nos fatores de avaliação dos países menos eficientes em termos de segurança no abastecimento de petróleo, de modo a alcançar a eficiência. Esta metodologia permite ainda colmatar uma das falhas

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

identificadas na literatura relativamente aos indicadores propostos, no que se refere à possibilidade que oferece de analisar a sensibilidade e robustez relativamente aos resultados obtidos, avaliando até que ponto as DMUs permanecem eficientes ou ineficientes, como resultado da introdução de pequenas perturbações nos fatores de avaliação. Finalmente, esta metodologia é ainda útil porque possibilita a análise da evolução da produtividade dos países em termos de segurança energética, separando as variações que se devem a ganhos de eficiência das que se devem ao progresso tecnológico.

Os indicadores utilizados no presente estudo foram escolhidos com base na literatura científica. Assim, selecionaram-se o PIB *per capita* corrigido pela paridade do poder de compra e as reservas estratégicas de petróleo como *outputs* controláveis, o preço CIF das importações de petróleo como *input* não controlável, o peso do crude no *energy mix* como *input* controlável e uma adaptação do índice de Shannon-Wiener como (*bad input*, numa ótica de quanto maior o seu valor, melhor).

Uma vez que os modelos tipicamente utilizados na literatura são radiais e orientados, a performance de cada país foi medida através do método WRDDM. Este é um modelo não radial e não orientado, proporcionando uma mais visão abrangente em termos de eficiência, uma vez que avalia os ajustamentos que é necessário encetar para alcançar a eficiência quer nos *inputs* quer nos *outputs* dos países em simultâneo. Por outro lado, o facto de contemplar possibilidades de ajustamento em diferentes proporções para os fatores de avaliação, permite realizar uma análise mais realista. Finalmente, de modo a colmatar um dos *gaps* identificados na literatura, foi realizada uma análise de robustez aos resultados obtidos, bem como uma análise da variação da produtividade, no horizonte temporal contemplado.

Os resultados obtidos mostram que países como a Eslováquia, a República Checa e a Suécia foram considerados, no espaço temporal considerado, os países mais eficientes em termos de segurança no abastecimento do petróleo. A principal razão para a obtenção desta classificação deve-se ao facto destes países apresentarem um reduzido peso do petróleo no *energy mix*. Por outro lado, países como a Hungria, Polónia e Portugal foram os que apresentaram as piores performances em termos de segurança no abastecimento de petróleo. Os principais fatores responsáveis por tal classificação foram a baixa diversidade de fornecedores e o reduzido valor de reservas estratégicas.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

De acordo com a análise de robustez realizada, os resultados obtidos mostram que a classificação da Eslováquia como eficiente é pouco robusta, na medida em que, se fossem introduzidas perturbações de 5% e 10% no valor dos fatores em avaliação, este país passaria ter a pior classificação no *ranking*.

A análise de produtividade efetuada aponta para que, no caso dos países considerados ineficientes, que apresentaram ganhos de produtividade, o progresso tecnológico foi o fator que apresentou mais relevo. Assim, o indicador relativo à diversidade de fornecedores (índice de Shannon-Wiener) foi o fator que mais contribuiu para o referido progresso tecnológico, mostrando resultados consistentes com a estratégia de diversificação das fontes de abastecimento implementada pela UE (Elbassoussy, 2019). Deste modo, verifica-se que os países que obtiveram pior performance em termos de segurança energética, realizaram um esforço significativo no combate à vulnerabilidade e exposição face à volatilidade típica do mercado petrolífero. Não obstante, para melhorar a sua performance em termos de segurança no abastecimento de petróleo, estes países deveriam equacionar outro tipo de estratégias, nomeadamente relacionadas com o aumento da eficiência energética e a substituição do consumo de combustíveis fósseis por outros tipos de fontes energéticas renováveis.

Como linha de investigação futura, seria interessante e relevante estudar e analisar o impacto da recente pandemia na segurança energética dos vários países, principalmente de países com economias emergentes, ou em países cujo crescimento económico tem apresentado um crescimento mais lento.

Referências Bibliográficas

- Alekhina, V., & Yoshino, N. (2018). Impact of world oil prices on an energy exporting economy including monetary policy. ADBI Working Paper Series, (828).
- Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015a). Energy security: Definitions, dimensions, and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1077–1093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.064>
- Apergis, N., Aye, G. C., Barros, C. P., Gupta, R., & Wanke, P. (2015). Energy efficiency of selected OECD countries: A slacks based model with undesirable outputs. *Energy Economics*, 51, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.05.022>.
- Augutis, J., Krikštolaitis, R., Matuzienė, V., & Pečiulytė, S. (2009). Assessment of Lithuanian power supply security depending on nuclear energy. In *Safe 2009*. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/safe090231>.
- Baláž, V., Nežinský, E., Jeck, T., & Filčák, R. (2020). Energy and emission efficiency of the slovak regions. *Sustainability*, 12(7), 2611. <https://doi.org/10.3390/su12072611>.
- Baležentis, T., & Streimikiene, D. (2017). Multi-criteria ranking of energy generation scenarios with Monte Carlo simulation. *Applied Energy*, 185, 862–871. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.085>.
- Balk, B. M., Färe, R., Grosskopf, S., & Margaritis, D. (2008). Exact relations between luenberger productivity indicators and malmquist productivity indexes. *Economic Theory*, 35(1), 187–190. <https://www.jstor.org/stable/40282851>.
- Bampatsou, C., Papadopoulos, S., & Zervas, E. (2013). Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption. *Energy Policy*, 55, 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.021>.
- Bandura, R. (2008). A survey of composite indices measuring country performance: 2008 update. New York: United Nations Development Programme, Office of Development Studies (UNDP/ODS Working Paper).
- Baumeister, C., & Kilian, L. (2016). Forty years of oil price fluctuations: Why the price of oil may still surprise us. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2714319>.
- Chalvatzis, K. J., & Ioannidis, A. (2017). Energy supply security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of primary energy. *Applied Energy*, 207, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.010>.
- Chambers, R. G., Chung, Y., & Färe, R. (1998). Profit, directional distance functions, and nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 98(2), 351–364. <https://doi.org/10.1023/a:1022637501082>.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8).

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Chen, P. C., Yu, M. M., Chang, C. C., Hsu, S. H., & Managi, S. (2015). Nonradial directional performance measurement with undesirable outputs: An application to OECD and non-OECD countries. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 14(03), 481-520.

Department for Business, Energy & Industrial Strategy, UK Government. (2020). Energy Trends: September 2020. <https://www.gov.uk/government/statistics/energy-trends-september-2020>. Consultado em: 24/08/2021

Elbassoussy, A. (2019). European energy security dilemma: Major challenges and confrontation strategies. *Review of Economics and Political Science*, 4(4), 321–343. <https://doi.org/10.1108/reps-02-2019-0019>.

Erahman, Q. F., Purwanto, W. W., Sudibandriyo, M., & Hidayatno, A. (2016). An assessment of Indonesia's energy security index and comparison with seventy countries. *Energy*, 111, 364–376. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.100>.

European Commission. Directorate-General for Energy. (2001). Green paper: Towards a European strategy for the security of energy supply. Office for Official Publications of the European Communities.

Europeu, P., & da União Europeia, C. (2006). Diretiva 2006/67/CE do Conselho de 24 de julho e 2006 que obriga os Estados-Membros a manterem um nível mínimo de reservas de petróleo bruto e/ou de produtos petrolíferos. *Jornal Oficial da União Europeia (JOUE)*, L, 217.

Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66–83. <https://www.jstor.org/stable/2117971>.

Forouli, A., Gkonis, N., Nikas, A., Siskos, E., Doukas, H., & Tourkolias, C. (2019). Energy efficiency promotion in Greece in light of risk: Evaluating policies as portfolio assets. *Energy*, 170, 818–831. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.180>.

Gasser, P. (2020). A review on energy security indices to compare country performances. *Energy Policy*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111339>.

Gozgor, G., Chang, Y., & Bilgin, M. H. (2016). Crude oil price shocks and macroeconomic performances in the ASEAN economies. In *Financial environment and business development* (pp. 253–265). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39919-5_20.

Guo, X., Hao, C., & Niu, S. (2020). Analysis of oil import risk and strategic petroleum reserve: The case of China. *Sustainability*, 12(9), 3723. <https://doi.org/10.3390/su12093723>.

Gupta, E. (2008). Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 36(3), 1195–1211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.011>.

Hu, J.-L., & Kao, C.-H. (2007). Efficient energy-saving targets for APEC economies. *Energy Policy*, 35(1), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.032>.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

IEA. (2018). World Energy Outlook 2018, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>.

Institute for 21st Century Energy, 2016. International Index of Energy Security Risk. U.S. Chamber of Commerce, Washington, DC.

Institute for 21st Century Energy, 2017. Index of U.S. Energy Security Risk. U.S. Chamber of Commerce, Washington, DC.

Iqbal, W., Altalbe, A., Fatima, A., Ali, A., & Hou, Y. (2019). A DEA approach for assessing the energy, environmental and economic performance of top 20 industrial countries. *Processes*, 7(12), 902. <https://doi.org/10.3390/pr7120902>.

Kruyt, B., van Vuuren, D. P., de Vries, H. J. M., & Groenenberg, H. (2009). Indicators for energy security. *Energy Policy*, 37(6), 2166–2181. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.006>.

Mead, D., & Stiger, P. (2015). The 2014 plunge in import petroleum prices: What happened? *Beyond the Numbers*, 4(9), 1–7. <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-4/pdf/the-2014-plunge-in-import-petroleum-prices-what-happened.pdf>.

Mendoza, O., & Vera, D. (2010). The asymmetric effects of oil shocks on an oil-exporting economy. *Cuadernos de economía*, 47(135). <https://doi.org/10.4067/s0717-68212010000100001>.

Mukhtarov, S., Humbatova, S., Mammadli, M., & Gadim-Oglu Hajiyev, N. (2021). The impact of oil price shocks on national income: Evidence from azerbaijan. *Energies*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/en14061695>.

Obadi, S. M., & Korcek, M. (2014). Relationship between GDP growth and oil and natural gas consumption in EU countries. *Ekonomický Časopis*, 62(3), 249–264. https://www.researchgate.net/publication/286116752_Relationship_between_GDP_Growth_and_Oil_and_Natural_Gas_Consumption_in_EU_Countries.

Onamics, G., 2005. Onamics Energy Security Index—Central and Eastern Europe. Onamics LLC, Washington, DC.

Ren, X., & Yumeng, Y. (2015). The optimal size of china's strategic petroleum reserve. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2(3), 13–16. <https://doi.org/10.18280/mmep.020304>.

Salazar, J.A., Subbiah, A.S., & Macko, M. (2019). Energy Efficiency of Public Buildings in Prešov region : Strategic Planning for Scaling-up EE in PSK Buildings.

Song, M.-L., Zhang, L.-L., Liu, W., & Fisher, R. (2013). Bootstrap-DEA analysis of BRICS' energy efficiency based on small sample data. *Applied Energy*, 112, 1049–1055. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.02.064>.

Taghizadeh-Hesary, F., Yoshino, N., Rasoulinezhad, E., & Chang, Y. (2019). Trade linkages and transmission of oil price fluctuations. *Energy Policy*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.07.008>.

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

- Taylor, J., & Van Doren, P. (2005). The case against the strategic petroleum reserve. *Policy Analysis*, (555).
- Towards a European strategy for the security of energy supply: Green paper. (2001). Office for Official Publications of the European Communities.
- UKERC. (2019). The Impact of Brexit on the UK and Devolved Energy System. <https://ukerc.ac.uk/publications/brexit-impact-energy-system/>.
- Valdés, J. (2018). Arbitrariness in multidimensional energy security indicators. *Ecological Economics*, 145, 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.09.002>.
- IEA. World Energy Outlook 2018. (2018).
- Yang, Y., Li, J., Sun, X., & Chen, J. (2014). Measuring external oil supply risk: A modified diversification index with country risk and potential oil exports. *Energy*, 68, 930–938. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.091>.
- Zeng, S., Streimikiene, D., & Baležentis, T. (2017). Review of and comparative assessment of energy security in Baltic States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.037>.
- Zhang, H.-Y., Ji, Q., & Fan, Y. (2013). An evaluation framework for oil import security based on the supply chain with a case study focused on China. *Energy Economics*, 38, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.03.014>.
- Zhou, P., & Ang, B. W. (2008). Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance. *Energy Policy*, 36(8), 2911–2916. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.041>.
- Zhu, J. (1996). Robustness of the efficient DMUs in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 90(3), 451–460. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00054-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00054-2).
- Zhu, J. (2001). Super-efficiency and DEA sensitivity analysis. *European Journal of Operational Research*, 129(2), 443–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00433-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00433-6).
- Zhu, J. (2003). Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and improvement with an application. *European Journal of Operational Research*, 144(3), 513–529. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00392-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00392-7).

Webgrafia

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>. Consultado em: 19/07/2021

<https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.CD>. Consultado em: 13/06/2021

https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/eu-crude-oil-imports_en. Consultado em: 13/06/2021

[https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html#:~:text=In%202019%2C%20the%20energy%20mix,fossil%20fuels%20\(both%2013%20%25\).>](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/infographs/energy/bloc-2a.html#:~:text=In%202019%2C%20the%20energy%20mix,fossil%20fuels%20(both%2013%20%25).>). Consultado em: 24/08/2021

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/national-accounts/data/main-tables>. Consultado em: 27/08/2021

<https://www.iea.org/articles/oil-stocks-of-iea-countries>. Consultado em: 15/06/2021

<https://www.iea.org/countries/united-kingdom>. Consultado em: 15/06/2021

<http://info.worldbank.org/governance/wgi/>. Consultado em: 15/06/2021

<https://www.macrotrends.net/2480/brent-crude-oil-prices-10-year-daily-chart>
Consultado em: 21/07/2021

<https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=332>. Consultado em: 27/07/2021

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo
dos países importadores líquidos na União Europeia

Apêndice

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela A.1 – Ranking dos scores de eficiência dos países estudados no ano de 2013. Fonte: Elaboração própria.

<i>Rank</i>	<i>DMU</i>	<i>Score</i>	<i>Número de vezes considerados Benchmarks</i>
1º	SVK	1,37	4
2º	ESP	1,19	6
3º	CZE	1,12	2
4º	NLD	1,07	7
5º	GBR	1,05	6
6º	FRA	1,04	5
7º	SWE	1,04	4
8º	AUT	1,02	4
9º	ITA	0,98	0
10º	DEU	0,98	0
11º	BEL	0,88	0
12º	GRC	0,77	0
13º	PRT	0,67	0
14º	IRL	0,54	0
15º	HUN	0,41	0
16º	POL	-2,07	0

Tabela A.2 – Variações percentuais das projeções relativamente aos valores reais para cada indicador dos países ineficientes, no ano de 2013. Fonte: Elaboração própria.

	GDP PPP PC	STOCKS	%OIL	SHANNON
DMU	Variação (%)	Variação (%)	Variação (%)	Variação (%)
ITA	5,90%	0,00%	-1,68%	0,00%
DEU	0,00%	13,95%	0,00%	0,00%
BEL	5,92%	47,88%	-6,36%	0,00%
GRC	55,86%	38,21%	-10,71%	13,50%
PRT	70,30%	74,61%	-17,34%	0,00%
IRL	0,00%	86,67%	-24,09%	115,82%
HUN	44,04%	0,00%	0,00%	312,12%
POL	24,53%	5,62%	0,00%	1.814,77%

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela A.3– Ranking dos scores de eficiência dos países estudados no ano de 2014. Fonte: Elaboração própria.

Rank	DMU	Score	Número de vezes considerados Benchmarks
1º	SVK	1,85	2
2º	GRC	1,15	1
3º	CZE	1,08	2
4º	SWE	1,04	6
5º	ESP	1,04	2
6º	NLD	1,03	7
7º	FRA	1,03	4
8º	GBR	1,03	3
9º	BEL	1,02	4
10º	ITA	1,01	1
11º	AUT	1,01	2
12º	DEU	0,98	0
13º	IRL	0,75	0
14º	PRT	0,72	0
15º	HUN	0,58	0
16º	POL	0,51	0

Tabela A.4 – Variações percentuais das projeções relativamente aos valores reais para cada indicador dos países ineficientes, no ano de 2014. Fonte: Elaboração própria.

	GDP PPP PC	STOCKS	%OIL	SHANNON
DMU	Variação %	Variação %	Variação %	Variação %
DEU	0,00%	5,35%	-1,79%	0,00%
IRL	0,00%	45,09%	-12,04%	68,27%
PRT	65,85%	66,20%	-12,14%	0,00%
HUN	52,28%	0,00%	0,00%	200,15%
POL	21,59%	11,61%	0,00%	261,41%

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela A.5– Ranking dos scores de eficiência dos países estudados no ano de 2019. Fonte: Elaboração própria.

Rank	DMU	Score	Número de vezes considerados Benchmarks
1º	SVK	1,44	2
2º	SWE	1,15	8
3º	NLD	1,10	8
4º	CZE	1,06	3
5º	IRL	1,06	5
6º	ESP	1,05	2
7º	GRC	1,05	1
8º	ITA	1,03	2
9º	FRA	1,02	4
10º	BEL	0,86	0
11º	DEU	0,76	0
12º	POL	0,75	0
13º	GBR	0,75	0
14º	PRT	0,64	0
15º	HUN	0,63	0
16º	AUT	0,60	0

Tabela A.6 – Variações percentuais das projeções relativamente aos valores reais para cada indicador dos países ineficientes, no ano de 2019. Fonte: Elaboração própria.

	GDP PPP PC	STOCKS	%OIL	SHANNON
DMU	Variação %	Variação %	Variação %	Variação %
BEL	0,00 %	82,54 %	0,00 %	0,00 %
DEU	1,57 %	139,52 %	0,00 %	0,00 %
POL	36,95 %	113,74 %	0,00 %	0,35 %
GBR	14,16 %	0,00 %	0,00 %	138,13 %
PRT	43,73 %	118,06 %	-17,42 %	0,00 %
HUN	59,52 %	71,38 %	0,00 %	92,88 %
AUT	0,57 %	240,78 %	0,00 %	0,75 %

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela A.7 – Evolução dos scores de eficiência por país e por ano. Fonte: Elaboração própria.

DMU	2013	2014	2019
AUT	1,02133	1,00619	0,59651
BEL	0,87852	1,02216	0,86244
CZE	1,12500	1,07543	1,06451
FRA	1,04443	1,03213	1,02052
DEU	0,97675	0,98214	0,76485
GRC	0,76715	1,15468	1,04602
HUN	0,40640	0,57928	0,62703
IRL	0,54205	0,75087	1,05736
ITA	0,98179	1,01319	1,02828
NLD	1,07332	1,03332	1,10214
POL	-2,07486	0,50899	0,74826
PRT	0,67178	0,71921	0,64326
SVK	1,36572	1,84887	1,43649
ESP	1,18939	1,04159	1,04972
SWE	1,03850	1,04449	1,15496
GBR	1,04986	1,02582	0,74619

Tabela A.8 – Variação dos scores de eficiência originais em função das perturbações introduzidas nos fatores do modelo (5% e 10%) no ano de 2013. Fonte: Elaboração própria.

DMU	Score original	5%		10%	
		Score	Score	Score	Score
AUT	1,02	0,82	1,2	0,67	1,27
BEL	0,88	0,69	1,15	0,58	1,19
CZE	1,12	1,03	1,71	0,86	1,75
FRA	1,04	1	1,3	0,71	1,38
DEU	0,98	0,81	1,27	0,69	1,31
GRC	0,77	0,52	1,04	0,38	1,11
HUN	0,41	-0,15	1,26	-0,55	1,45
IRL	0,54	0,41	1,11	0,29	1,15
ITA	0,98	0,81	1,19	0,66	1,26
NLD	1,07	1,01	1,2	0,76	1,24
POL	-2,07	-7,51	1,14	-10,38	1,5
PRT	0,67	0,54	1,05	0,42	1,1
SVK	1,37	-15,82	1,71	-22,56	1,76
ESP	1,19	1,02	1,22	0,62	1,26

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

SWE	1,04	1,01	1,47	0,62	1,51
GBR	1,05	1,03	1,36	0,85	1,4

Tabela A.9 – Variação dos scores de eficiência originais em função das perturbações introduzidas nos fatores do modelo (5% e 10%) no ano de 2014. Fonte: Elaboração própria.

DMU	<i>Score original</i>	5%		10%	
		<i>Score</i>	<i>Score</i>	<i>Score</i>	<i>Score</i>
AUT	1,01	0,82	1,36	0,70	1,43
BEL	1,02	0,83	1,27	0,74	1,32
CZE	1,08	0,90	1,86	0,75	1,90
FRA	1,03	0,93	1,49	0,77	1,55
DEU	0,98	0,86	1,42	0,77	1,48
GRC	1,15	0,53	1,18	0,41	1,23
HUN	0,58	0,30	1,48	0,05	1,53
IRL	0,75	0,58	1,14	0,46	1,18
ITA	1,01	0,84	1,35	0,71	1,41
NLD	1,03	0,92	1,34	0,79	1,39
POL	0,51	-0,53	1,61	-1,12	1,66
PRT	0,72	0,60	1,16	0,48	1,24
SVK	1,85	1,06	1,98	-19,64	2,02
ESP	1,04	0,78	1,25	0,63	1,32
SWE	1,04	1,02	1,68	0,77	1,72
GBR	1,03	1,01	1,44	0,78	1,49

Desenvolvimento de uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade ao petróleo dos países importadores líquidos na União Europeia

Tabela A.10 – Variação dos scores de eficiência originais em função das perturbações introduzidas nos fatores do modelo (5% e 10%) no ano de 2019. Fonte: Elaboração própria.

DMU	Score original	5%		10%	
		Score	Score	Score	Score
AUT	0,60	0,44	1,31	0,28	1,35
BEL	0,86	0,66	1,32	0,53	1,39
CZE	1,06	0,66	1,76	0,51	1,80
FRA	1,02	0,78	1,51	0,49	1,56
DEU	0,76	0,57	1,35	0,42	1,42
GRC	1,05	0,41	1,14	0,22	1,14
HUN	0,63	0,41	1,42	0,21	1,46
IRL	1,06	1,04	1,16	1,03	1,18
ITA	1,03	0,91	1,39	0,64	1,46
NLD	1,10	1,08	1,38	1,05	1,43
POL	0,75	0,37	1,41	0,16	1,46
PRT	0,64	0,43	1,17	0,23	1,24
SVK	1,44	-22,88	1,77	-30,80	1,82
ESP	1,05	0,57	1,20	0,32	1,26
SWE	1,15	1,06	1,97	1,01	2,00
GBR	0,75	0,61	1,45	0,47	1,48