

LUÍS ALBERTO COELHO DE MATOS AGOSTINHO

ALTERAÇÕES DE ESTRUTURA NO MERCADO
PETROLÍFERO: INDÍCIOS E EVIDÊNCIAS



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE ECONOMIA

2023

LUÍS ALBERTO COELHO DE MATOS AGOSTINHO

ALTERAÇÕES DE ESTRUTURA NO MERCADO
PETROLÍFERO: INDÍCIOS E EVIDÊNCIAS

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Finanças

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professora Doutora Cristina Maria Pereira Viegas de Oliveira

Professor Doutor Henrique Nuno Esteves Correia dos Santos

Morais



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

FACULDADE DE ECONOMIA

2023

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

ALTERAÇÕES DE ESTRUTURA NO MERCADO PETROLÍFERO: INDÍCIOS E EVIDÊNCIAS

Declaração de Autoria do Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Luís Alberto Coelho de Matos Agostinho

.....

© **Copyright:** LUÍS ALBERTO COELHO DE MATOS AGOSTINHO

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

RESUMO

O petróleo é um ativo fundamental para a economia global. É uma fonte primária de energia e como tal possibilita, na maioria dos casos, o transporte de pessoas e bens, a geração energética e a produção industrial. Por todos estes fatores, é de esperar que o petróleo e seus derivados sejam fundamentais ao funcionamento da economia, à política internacional e à vida quotidiana de cidadãos por todo o mundo. Dada a importância deste ativo, é objetivo deste trabalho estudar os acontecimentos socioeconómicos contemporâneos a alterações de estrutura no preço do petróleo, que com elas possam indiciar relações de causalidade.

Para este estudo, será utilizada a metodologia de Bai & Perron para a deteção de alterações de estrutura. A amostra consiste em observações dos preços de fecho de contratos de futuros negociados nos EUA, *West Texas Intermediate*, correspondentes a várias maturidades.

As conclusões deste trabalho destacam três pontos essenciais sobre a formação do preço do petróleo. Em primeiro lugar, observa-se o impacto significativo de fatores macroeconómicos, especialmente aqueles relacionados com a procura, como principais impulsionadores de alterações de estrutura nos mercados de petróleo. Em segundo lugar, enfatiza-se a influência da OPEP na determinação dos preços, realçando o seu papel proeminente no panorama global do petróleo. Por fim, a pesquisa sugere que, num contexto mais amplo, eventos geopolíticos tendem, por norma, a não desencadear alterações estruturais significativas no mercado do petróleo.

Palavras-chave: Alterações de estrutura; Futuros de WTI; Metodologia de Bai & Perron; Mercados Petrolíferos; Acontecimentos Socioeconómicos.

ABSTRACT

Oil is a fundamental asset for the global economy. It is a primary source of energy and, as such, enables, in most cases, the transportation of people and goods, power generation, and industrial production. Due to all these factors, it is known that oil and its derivatives are crucial to the functioning of the economy, international politics, and the daily lives of citizens around the world. Given the importance of this asset, the objective of this work is to study contemporary socio-economic events related to structural breaks in the price of oil that may have causal relationships with them.

For this study, we will employ the Bai & Perron methodology to detect structural breaks in a sample composed of closing price observations of West Texas Intermediate futures contracts with various maturities.

This study of structural changes reveals three essential conclusions regarding the determination of oil prices. Firstly, it highlights the impact of macroeconomic factors, especially those related to demand, as significant drivers of structural breaks in oil markets. Secondly, the influence of OPEC in price determination becomes evident, underscoring the prominent role of this organization in the global oil landscape. Lastly, the research shows that, in a broader context, geopolitical events usually tend not to trigger significant structural breaks in the oil market.

Keywords: Structural Breaks; WTI Futures; Bai & Perron Methodology; Oil Markets; Socioeconomic Events

ÍNDICE GERAL

DECLARAÇÃO DE AUTORIA	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE GERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Os determinantes do preço do petróleo.....	3
2.2. Quem negocia futuros de petróleo?	6
2.3. A reação dos mercados petrolíferos a choques.....	7
2.4. Alterações de Estrutura: Definição e Enquadramento	8
2.4.1. Os testes à existência de alterações de estrutura.....	9
2.4.1.1. Testes à deteção de uma única quebra	9
2.4.1.2. Testes à deteção de múltiplas quebras: os contributos de Bai & Perron	10
2.4.1.3. Outros testes.....	13
2.4.2. Aplicações do teste de Bai & Perron	13
3. METODOLOGIA.....	15
3.1. Amostra.....	16
3.2. Metodologia de Investigação	18
3.2.1. O Teste <i>Global L Breaks vs. None</i>	19
3.2.2. O Teste de <i>l versus l + 1 Breaks</i>	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Estatística descritiva	22
4.2. Resultados.....	23
4.3. Discussão de Resultados.....	27
5. CONCLUSÕES.....	32
Referências Bibliográficas.....	35
Anexos	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1- Acontecimentos marcantes no período em estudo.	16
Figura 3.2- Observações dos preços de fecho dos contratos de futuros WTI na amostra em análise.	16
Figura 3.3- Média de contratos de futuros negociados e posições abertas para Brent e o WTI, entre março de 2010 e março de 2020.	18
Figura 3.4- Volatilidade realizada (30 dias) do Brent e WTI entre junho de 2015 até dezembro de 2019 e a partir de janeiro de 2020.	18
Figura 4.1- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade diária a 1 e 2 dias, e suas respectivas quebras.	25
Figura 4.2- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade diária a 6 e 12 dias, e suas respectivas quebras.	25
Figura 4.3- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade mensal a 1 e 2 meses, e suas respectivas quebras.	26
Figura 7- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade mensal a 6 e 12 meses, e suas respectivas quebras.	26

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1- Estatística descritiva dos dados da amostra.	22
Tabela 4.2- Resultados da aplicação do teste Global L breaks vs. None à amostra. ...	24
Tabela 4.3- Acontecimentos Contemporâneos ao período das quebras.	28

LISTA DE ABREVIATURAS

BP03 - *Computation and Analysis Of Multiple Structural Change Models* de Bai & Perron (2003)

BP98 - *Estimating and Testing Linear Models With Multiple Structural Changes* de Bai & Perron (1998)

EIA - *U.S. Energy Information Administration*

EUA - Estados Unidos da América

MMQ - Método dos Mínimos Quadrados

OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

SQR - Soma do Quadrado dos Resíduos

USD - *United States Dollar*

WTI - *West Texas Intermediate*

1. INTRODUÇÃO

O mercado de petróleo desempenha um papel determinante em economias avançadas, uma vez que essas economias dependem deste recurso e dos seus derivados para alimentar as suas necessidades energéticas, incluindo transporte, geração de energia e produção industrial. A economia dos Estados Unidos, por exemplo, em fevereiro de 2023, dependia em grande parte de combustíveis fósseis, com apenas cerca de 13% da sua energia vinda de fontes renováveis e 79% provenientes de combustíveis fósseis¹. Esta dependência dos combustíveis fósseis, com o petróleo em destaque, é um reflexo da ligação entre os mercados de petróleo e a vida económica global, bem como a política internacional.

Neste contexto, é de crucial importância compreender os mercados de petróleo, as forças que os impulsionam e as razões pelas quais eles podem ter comportamentos diferentes em momentos distintos. Para perceber as flutuações no preço do petróleo, é essencial detetar alterações de estrutura e tentar associá-las a eventos socioeconómicos que as poderão ter causado. Este estudo, em linha com pesquisas anteriores, como Focacci (2023) e Plante & Strickler (2021), diferencia-se ao analisar eventos contemporâneos que podem estar relacionados com as quebras estruturais nos preços do petróleo.

O objetivo geral deste trabalho é, portanto, investigar os eventos socioeconómicos contemporâneos que podem indiciar uma relação de causalidade com alterações de estrutura no mercado de petróleo. Para tal, estabelecem-se três objetivos específicos. Primeiro, após a revisão de literatura, será aplicada a metodologia de Bai & Perron (1998, 2003) à amostra para determinar a presença de alterações de estrutura. Esta metodologia, como iremos ver, é apropriada para os nossos propósitos e já foi utilizada em trabalhos de âmbito semelhante, como Weideman & Inglesi-Lotz (2017) e Xiong, Shaopeng, Wang, Wang & Liu (2016), entre outros. O segundo é analisar os resultados da aplicação da metodologia de Bai & Perron e procurar associações com eventos socioeconómicos reais, com base em estudos abordados na Revisão de Literatura. O terceiro e último objetivo é determinar que tipos de eventos estão relacionados com as alterações de estrutura, investigando se as quebras estão ligadas a forças macroeconómicas, como recessões ou expansões económicas ou a eventos políticos ou geopolíticos.

¹ Dados da *U.S. Energy Information Administration*

Para realizar este estudo, é usada uma amostra constituída por observações mensais e diárias de preços de fecho de contratos de futuros de *West Texas Intermediate* (WTI), o petróleo *benchmark* dos EUA. O período em análise é aquele que vigora entre os dias 20 de novembro de 2006 e 21 de novembro de 2022. A escolha deste tipo de contrato de futuros, de entre outros disponíveis, está relacionada com a sua elevada liquidez e profundidade, mas também com o facto de parecer haver uma relação próxima entre a evolução dos preços deste contrato e a trajetória de preços de derivados petrolíferos como, por exemplo, a gasolina e o gasóleo, dois produtos altamente relevantes à vida económica, como explicado no parágrafo anterior.

Contribui-se, com este estudo, para a compreensão do assunto das alterações de estrutura e dos mercados petrolíferos, um dos mais complexos e importantes mercados das *commodities* na atualidade, bem como para a compreensão dos fatores que podem provocar movimentos significativos, por vezes mesmo disruptivos, nos preços dessa matéria-prima. A aplicação da metodologia de Bai & Perron (1998, 2003) para a deteção de alterações de estrutura no WTI e a sua posterior análise perante eventos socioeconómicos reais constitui, tanto quanto é do nosso conhecimento, uma novidade na literatura científica portuguesa. Também a literatura internacional é pouco abundante neste tema específico, já que, por norma, o estudo de alterações de estrutura nos mercados petrolíferos não é a finalidade de um trabalho, mas sim um meio para outras conclusões.

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. Para além desta introdução, no Capítulo 2, é explorada a literatura existente sobre as especificidades do petróleo como ativo e são revistos os estudos relacionados com alterações de estrutura e testes à presença de quebras nas séries temporais. O Capítulo 3, Metodologia, descreve a amostra e a metodologia de Bai & Perron que será aplicada às nossas observações de contratos de futuros de WTI. No Capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados baseados na abordagem mencionada anteriormente. O trabalho encerra no Capítulo 5 com as conclusões, limitações e oportunidades futuras de pesquisa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção será discutida a literatura considerada pertinente ao trabalho. Divide-se em dois pontos, o ponto 2.1. que aborda o petróleo e os mercados petrolíferos e o ponto 2.2. que trata a temática dos testes às alterações de estrutura, com especial ênfase na metodologia de Bai & Perron (1998, 2003), que será a utilizada neste trabalho.

2.1. Os determinantes do preço do petróleo

Numa primeira análise importa perceber os determinantes do preço do petróleo, para depois se compreender melhor a sua importância nos movimentos dos mercados. Neste aspecto, Liu, Ding, Lv, Wu & Qiang (2019) explicam a divergência entre o que eram os grandes determinantes antes da crise financeira de 2008, no caso fatores de procura e oferta, e aqueles que são os determinantes do preço do petróleo no período pós-crise, onde essas questões de procura e oferta se revelaram insuficientes para explicar o comportamento deste preço em específico (embora continuem a ser altamente relevantes, ou mesmo os mais relevantes). Ding, Liu, Zhang & Long (2017) dizem-nos que os recursos petrolíferos têm características de uma *commodity* (como elemento produtivo) mas também possuem muitas características financeiras. Nesta linha de pensamento, o já mencionado Liu *et al.* (2019) divide a sua revisão dos determinantes entre aqueles que têm características de *commodity*, os fatores políticos e os fatores financeiros.

Seguindo o raciocínio de Liu *et al.* (2019), e começando o nosso estudo pelas características que o petróleo partilha com outras *commodities*, referencia-se aqui também Smith (2009) no aspecto em que este estuda a dificuldade da oferta acompanhar a procura em determinados períodos, responsabilizando inclusive este fenómeno por cenários de volatilidade. O contrário também acontece, e uma queda abrupta dos preços do barril de petróleo em 2014 terá sido causada por uma sobreprodução (especialmente causada pelos EUA) que tornou a oferta muito superior à procura (Mead & Stiger, 2015). Problemas de sobreprodução norte-americanos são especialmente impactantes no preço de WTI, o petróleo produzido nos EUA, já que há uma capacidade de armazenagem reduzida quando comparada com outros produtos petrolíferos, nomeadamente o Brent (Wittner, 2020).

É também digno da nossa melhor atenção o papel determinante da OPEP² na definição dos preços de petróleo (Coleman, 2012) e o impacto da atividade produtiva dos Estados Unidos e Médio Oriente. O papel da OPEP (no caso OPEP+)³ foi também estudado por Quint & Venditti (2020) que atribuíram a esta organização um papel, ainda que marginal, na definição dos preços do petróleo.

Além disso, o rápido crescimento económico da China e de outras nações em desenvolvimento é determinante para o preço do petróleo, segundo Smith (2009), uma questão que só se terá agudizado em tempos mais recentes. Outros fatores económicos, como o impacto de um período recessivo ou expansionista (Kilian, 2009) ou a incerteza (Kang & Ratti, 2013), o retorno de obrigações ou o tamanho dos mercados de futuros petrolíferos (Coleman, 2012) são também características de *commodity* do petróleo determinantes ao preço do mesmo. Importa também reter o impacto que a pandemia de COVID-19 teve no mundo a partir dos primeiros meses de 2020. Garavini (2020) explica o sucedido na época e a tempestade perfeita que ocorreu devido à redução drástica da procura de petróleo motivada pelos confinamentos e demais restrições, bem como devido à guerra de preços entre a Rússia, a Arábia Saudita e a OPEP. Este conflito de preços, conforme explicado pela referência acima, foi desencadeado pelo facto de a Rússia se ter recusado a coordenar com a OPEP uma redução de produção que estabilizaria o mercado. A Arábia Saudita respondeu da mesma forma e maximizou a produção, inundando o mercado com muito mais petróleo do que o necessário, causando uma redução significativa no preço deste bem.

Questões bélicas terão sempre um impacto nos mercados, com especial preponderância nos petrolíferos, devido à sua natureza especial já mencionada anteriormente. Coleman (2012) associa o preço do petróleo a longo prazo com a frequência de ataques terroristas no Médio Oriente e a presença de soldados americanos na região. O conflito entre a Rússia e a Ucrânia, iniciado em fevereiro de 2022, é o mais recente conflito, tornando-se importante por envolver um dos maiores produtores de petróleo (Rússia), que prontamente foi sujeito a sanções internacionais, e por toda a dinâmica geopolítica que envolve uma invasão de larga escala. Neste âmbito, Ozawa & Tardy (2022) e Karda

² *Organização dos Países Exportadores de Petróleo.*

³ Países membros da OPEP (Algéria, Angola, Congo, Guiné Equatorial, Gabão, Irão, Iraque, Kuwait, Líbia, Nigéria, Arábia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela) mais um conjunto de 10 países que com eles tomam decisões conjuntas (Azerbaijão, Barein, Brunei, Cazaquistão, Malásia, México, Omã, Sudão, Sudão do Sul).

(2023) explicam o cenário geopolítico e a crise energética que pairou pela Europa perante a dependência europeia de petróleo e gás russo. Yagi & Managi (2023) explicam de forma concisa o subsequente aumento de preços do petróleo motivado por este conflito e as consequências para outros setores.

A relação entre fatores políticos e os mercados petrolíferos está bem documentada na literatura. Arezki, Djankov, Nguyen & Yotzov (2022) estudam a relação entre os movimentos do preço do petróleo e a probabilidade de reeleição dos executivos incumbentes, concluindo que choques no preço de importação deste bem causam uma diminuição na chance de reeleição desses mesmos decisores. Dragomirescu-Gaina, Philippas & Goutte (2023) observam que os *tweets* do ex-presidente norte-americano Donald Trump sobre petróleo estão associados a uma maior atividade especulativa nos mercados de derivados energéticos. Cheon, Lackner & Urpelainen (2015) estudam a dicotomia enfrentada pelos decisores políticos ao subsidiar produtos petrolíferos, em que por um lado, é uma medida politicamente vantajosa e, por outro, pode causar distorções económicas e ser pouco eficaz no combate à pobreza.

Aspetos financeiros também desempenham um papel determinante no preço do petróleo. É aqui que o petróleo diverge das restantes *commodities* (Liu, 2019), uma vez que este primeiro tem uma componente financeira muito mais relevante do que as segundas. Isto acontece porque existem vários instrumentos derivados associados ao petróleo (o que não se verifica em relação à generalidade das *commodities*), tornando-o mais sensível, por exemplo, à especulação. Para além da especulação, que será estudada com mais detalhe posteriormente neste trabalho, outro fator financeiro a destacar como determinante do comportamento dos mercados de petróleo é a atenção⁴ (e posterior comportamento) dos investidores em relação a esses mercados.

Com o surgimento de uma era cada vez mais digital, onde a informação flui mais rapidamente, é cada vez mais impactante a atenção dos investidores aos mercados, o que pode ser explicado do ponto de vista das finanças comportamentais, conforme definido por Liu *et al.* (2019). Estes mesmos autores citam Li, Ma & Zhang. (2015), que estudam a relação entre o índice de volume das pesquisas no Google (doravante “GSVI” do inglês *Google search volume index*) e os preços do crude, chegando à conclusão de que o mesmo

⁴ Atenção do investidor e sentimento do mercado define-se como a atitude geral dos investidores em relação ao que esperam ser a evolução dos preços no mercado.

índice representa as preocupações dos investidores não comerciais (sem interesse direto na *commodity* que estão a negociar - especuladores), havendo um mecanismo de *feedback* positivo entre o GSVI e a volatilidade deste mercado. Li *et al.* (2015) reportam ainda a capacidade do GSVI de prever os preços do crude a curto prazo. Na mesma linha Cepni, Nguyen & Sensoy (2022) desenvolveram duas medidas de atenção dos investidores baseada na função de notícias do terminal da Bloomberg (que é utilizado na sua maioria por investidores institucionais), comprovando a utilidade das mesmas para prever retornos em futuros de petróleo (embora tenham observado que a sua eficácia diminui com a maturidade dos contratos). Em contrapartida, Kilian & Vega (2008) concluem que 99% da variação do preço de crude WTI não pode ser explicada em tempo real por notícias macroeconómicas norte-americanas.

2.2. Quem negocia futuros de petróleo?

Uma vez estudadas as forças económicas que movem o preço do petróleo, é importante perceber quem são os agentes económicos que operam nestes mercados (de futuros, entenda-se). Como documentado no ponto anterior, o petróleo é uma *commodity*⁵ com uma componente financeira muito forte. Esta componente explica que encontremos a negociar nestes mercados investidores com os mais variados interesses.

A literatura sobre este assunto leva-nos, na sua maioria, a definir dois grandes grupos de investidores: os *hedgers* (como, por exemplo, companhias aéreas ou refinarias), interessados em fazer cobertura de risco para mitigar o risco de preço do petróleo, e os especuladores (como, por exemplo, bancos de investimento ou fundos), interessados em lucrar com eventuais variações dos preços (Ederington & Lee, 2002). De notar ainda o papel determinante dos arbitragistas, cuja ação garante a uniformidade dos preços de um determinado produto em todos os mercados (Burns & Kane, 2022).

O papel de cada um destes agentes tem sido amplamente estudado e com as mais variadas conclusões. Autores como Smith (2009), Alquist & Gervais (2013), Kilian & Lee (2014), Brunetti, Büyükşahin, & Harris, (2016), e Focacci (2023) argumentam a favor de um fraco impacto da especulação na destabilização de mercados de futuros. Por outro lado, Kim (2015) identifica um papel significativo dos especuladores. É importante também

⁵ Büyükşahin & Robe (2014) demonstram inclusive no seu trabalho a importância de se perceber quem opera nos mercados das *commodities* para prever retornos.

considerar o efeito de bolhas especulativas, atribuídas à ação dos especuladores de acordo com Umar, Su, Rizvi & Lobont (2021), pois o estudo dessas bolhas ajuda a compreender melhor a volatilidade do preço do petróleo (Garcia-Carranco, Bory-Reyes & Balankin, 2016).

Trabalhos como Kesicki (2010) e Juvenal & Petrella (2015) identificam impactos da especulação na subida e subsequente quebra no preço do petróleo em 2008, embora ambos os estudos atribuam um papel secundário à especulação em comparação com os movimentos de procura/oferta. Este ponto de vista é suportado por Kaufmann & Ullman (2009), que também observaram que um aumento no preço do petróleo em março de 2008 foi causado tanto por mudanças fundamentais na dinâmica dos mercados quanto pela especulação.

2.3. A reação dos mercados petrolíferos a choques

Em linha com o tema deste trabalho, importa também perceber que choques⁶ são mais determinantes em fazer agitar os mercados de petróleo. Kilian (2009) é um importante estudo que investiga os impactos dos choques na procura e na oferta sobre o preço do petróleo, utilizando os preços *spot* de WTI. O autor concluiu que nem todos os choques afetam o preço desta *commodity* (e a economia como um todo) da mesma maneira. O choque mais expressivo e persistente na atividade económica real é aquele causado por um movimento brusco na procura agregada.

Kang & Ratti (2013) corroboram as conclusões de Kilian, na medida em que associam um choque de procura positivo e específico ao petróleo a uma maior incerteza na política económica, a qual também influencia os preços do petróleo. Montoro (2012) estuda a relação entre choques no mercado petrolífero e a inflação, encontrando um *trade-off* entre estabilizar a inflação e estabilizar a produção na presença destes fenómenos.

Karali, Ye & Ramirez (2019) concluem que eventos verdadeiramente não antecipados (utilizam os ataques terroristas de 11 de setembro como exemplo) têm impactos de curto prazo, ao passo que os eventos que verdadeiramente marcam os mercados de forma mais permanente são as crises financeiras.

⁶ Define-se choques como a componente não antecipada de uma mudança substancial no preço do petróleo (Baumeister & Kilian, 2016).

Dedi & Mandilaras (2022) estudam também o impacto de choques no comportamento dos *players* (e, conseqüentemente, no preço) e chegam à conclusão de que investidores diferentes reagem de diversas maneiras a choques: produtores e negociantes de *swap* reduzem as suas posições na presença de choques positivos no preço, enquanto gestores de carteiras têm o movimento contrário. Apesar destes movimentos, os mesmos autores afirmam que é fraca a evidência de que estas posições dos *players* afetem o preço do petróleo.

Em síntese, este ponto faz o enquadramento entre este estudo, a literatura existente sobre os mercados petrolíferos e os determinantes do preço do petróleo. A literatura é ampla, e poderíamos falar mais sobre cada um dos determinantes aqui mencionados. No entanto, há ideias comuns a vários trabalhos que merecem, por isso, a nossa melhor consideração. Interessa então reter que, embora diferentes determinantes e diferentes agentes possam ter impactos variados no preço do petróleo, as forças da procura e da oferta parecem ser as grandes diretrizes nas variações dos preços. Destas duas forças, a procura é aquela que é indicada como a mais decisiva.

2.4. Alterações de Estrutura: Definição e Enquadramento

Bai (1997) começa o seu trabalho a alertar o leitor para o quão comum é a instabilidade de parâmetros (“*parameter instability*”) em modelos económicos, especialmente em séries temporais que se estendem a um período longo. Isto ocorre porque, num horizonte temporal maior, é muito mais provável que os dados sejam influenciados por fatores como mudanças de política. Outro autor com contributos seminais para o tema, Chow (1960), argumenta que sempre que uma regressão linear é usada para representar uma relação económica, podemos questionar se a relação se mantém para dois períodos temporais diferentes ou se se mantém para dois grupos económicos diferentes. Por exemplo, será que o consumo hoje é igual ao que era antes da Segunda Guerra Mundial? Segundo este mesmo autor, estatisticamente, estas questões podem ser respondidas ao testar se dois conjuntos de observações podem ser considerados como pertencentes a um mesmo modelo de regressão. Quando há, então, uma mudança repentina e permanente na relação entre os pontos que compõem uma série temporal, temos uma alteração de estrutura. O ponto em que este evento ocorre é chamado de ponto de quebra (*breakpoint*).

Ferreira, Menezes & Oliveira (2013) resumem de forma clara no seu trabalho como as alterações de estrutura parecem afetar modelos baseados em séries temporais de natureza económica e financeira. Os mesmos autores referem ainda que estas alterações podem refletir mudanças legislativas, institucionais, tecnológicas, políticas ou até choques macroeconómicos. Na mesma linha, Hansen (2001) afirma que alterações de estrutura podem ser decisivas em séries temporais e ignorá-las pode ser perigoso. O mesmo escreve ainda que inferências sobre relações económicas, previsões e recomendações políticas podem ser goradas se não se tiverem em conta as ditas mudanças.

2.4.1. Os testes à existência de alterações de estrutura

2.4.1.1. Testes à deteção de uma única quebra

No seu já mencionado trabalho seminal, Chow (1960) apresenta-nos um trabalho basilar sobre o tema das alterações de estrutura. Embora de simples aplicação, o teste que este propõe assenta no pressuposto de que a eventual data de quebra é conhecida, o que, sem informação prévia, é difícil de sustentar. Assim, este mesmo teste só permite avaliar um possível *breakpoint* em simultâneo, oferecendo uma menor eficácia quando esse ponto é desconhecido ou tem de ser estimado (Gabriel, 2002).

Quandt (1960) desenvolveu o trabalho de Chow (1960), propondo um método conhecido como *Quandt Likelihood Ratio* (QLR), baseado no cálculo de estatísticas de teste de estabilidade de Chow para todos os possíveis pontos de quebra e analisando o maior valor resultante em termos absolutos, estimando o ponto de quebra m por máxima verosimilhança e, em seguida, efetuando um teste de rácio de verosimilhança (*likelihood ratio*) (Gabriel, 2002). Em suma Quandt parte do pressuposto da realização de um teste de Chow para todos os possíveis *breakpoints* da amostra, e o ponto escolhido para ser o de quebra será o que maximiza o teste do rácio de verosimilhança.

O teste acima descrito é, também ele, de poder limitado, já que apenas testa a hipótese de que não houve mudanças contra a existência de uma mudança (ainda que, ao contrário de Chow (1960), não tenhamos que indicar *a priori* uma data específica para testar uma *quebra* nessa mesma data), ignorando a possibilidade de haver mais de uma *quebra* na mesma amostra. Esta abordagem foi basilar para vários outros testes (os chamados testes “*sup*”), que, segundo Casini & Perron (2018), culminaram no trabalho de Andrews (1993), que, embora limitado (como Quandt) à deteção de uma única *quebra*, teve o

importante mérito de mostrar que o teste de Chow pode ser baseado em valores máximos dos testes de Wald e do multiplicador de Lagrange, para além da máxima verosimilhança, como ilustrou Quandt.

Andrews & Ploberger (1994) seguiram o trabalho descrito no parágrafo anterior, desenvolvendo uma distribuição para, entre outros casos, o teste do rácio de verosimilhança no qual Quandt (1960) se baseia, tornando-o viável. O estudo destes autores alicerça-se na construção de testes, que, como explica Gabriel (2002:23) “são construídos como uma média ponderada dos testes clássicos, podendo assumir duas formas distintas, consoante a potência é dirigida para alternativas mais próximas ou distantes dos parâmetros sob a hipótese nula” (que é a não existência de alterações de estrutura).

2.4.1.2. Testes à deteção de múltiplas quebras: os contributos de Bai & Perron

O contributo de Bai & Perron no estudo da captação de alterações de estrutura é indiscutível. Apesar de ambos serem autores de vários trabalhos nesta matéria, este trabalho estudará (principalmente, mas não exclusivamente) os seus trabalhos seminais “*Estimating and Testing Linear Models With Multiple Structural Changes*” de 1998 e “*Computation and Analysis Of Multiple Structural Change Models*” de 2003.

No seu supramencionado contributo, Bai & Perron (1998) (doravante BP98) estabelecem à partida que o seu trabalho trata múltiplas alterações de estrutura que ocorrem num ponto desconhecido da amostra, numa regressão linear estimada pelo método dos mínimos quadrados (MMQ), sendo derivadas a taxa de convergência e as distribuições limite dos pontos de quebra estimados. Esta abordagem, conforme constatam os dois autores, difere da restante literatura da época (nomeadamente a já revista no ponto anterior deste trabalho) na medida em que a mesma, como já vimos, trata apenas o caso de uma única mudança (um único ponto de quebra).

O estudo elaborado pelos autores em BP98, para além de assentar num modelo linear estimado pelos MMQ, permite formas gerais de autocorrelação em série e heteroscedasticidade nos erros, bem como variáveis dependentes desfasadas, regressores com tendência e diferentes distribuições para os erros e para os regressores entre segmentos, conforme sumarizam os próprios autores no trabalho em causa. Importante também no enquadramento do trabalho é o facto de ser considerado um modelo de

mudança estrutural parcial, onde nem todos os parâmetros estão sujeitos a mudanças. Bai & Perron acrescentam também que outra particularidade de relevo para este estudo é o facto de nele ser considerado o importante problema de se testar para múltiplas alterações de estrutura para o caso de não haver regressores com tendência.

É então apresentado em BP98 um teste (*sup* Wald, já enquadrado anteriormente) onde a hipótese nula é a de não existência de alterações e a alternativa é um número desconhecido de alterações (pelo menos uma) até um determinado máximo, e um teste para a hipótese nula de l mudanças *versus* a alternativa $l + 1$ mudanças, sendo este último particularmente importante na medida em que permite uma estratégia que vai do específico até ao geral para determinar consistentemente o número de alterações nos dados (conforme viriam a admitir os autores em Bai & Perron, 2003a).

Apesar do seu carácter inovador à época, os autores apresentam tópicos a serem trabalhados futuramente, com vista a fortalecer este estudo, com destaque para os méritos de diferentes métodos para seleccionar o número de alterações detetadas. Outros assuntos que Bai & Perron consideraram pertinentes o suficiente para serem estudados em trabalhos futuros foram uma possível extensão do teste a procedimentos otimizados de acordo com os critérios seleccionados e extensões do mesmo a modelos não lineares.

O seminal trabalho “*Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models*” de Bai & Perron (2003a) (doravante BP03) dá seguimento ao trabalho dos mesmos publicado em 1998 (revisto nos parágrafos anteriores) sendo que considera e refina a aplicação prática da metodologia proposta em BP98, sugerindo métodos computacionais para estimar os minimizantes globais.

É então numa primeira instância apresentado em BP03 o teste⁷ *supF* (utilizando a metodologia *sup* derivada no já mencionado Andrews, 1993) da não existência de alterações de estrutura *versus* a existência de um determinado número l fixo de alterações (existirá sempre pelo menos uma) conforme havia sido dado em BP98, aqui explicado em mais detalhe. Uma limitação desta metodologia é que necessita da assunção de um número predefinido de l pontos de quebra, pelo que nos casos em que seja desafiante

⁷ Teste *Global L breaks vs. none*.

fazê-lo, pode tornar-se interessante executar a metodologia explicada no parágrafo seguinte.

É seguidamente apresentado no artigo correntemente em análise dois testes à hipótese nula da não existência de alterações contra um dado número de alterações com o limite superior M , conforme explanado em BP03. Útil nas circunstâncias em que o investigador não quer ter de assumir previamente um dado número de alterações para tirar conclusões, estes testes foram chamados de *double maximum tests* (já que se baseiam na maximização global quer para um dado l , quer para vários valores da estatística teste de l), assentes no cálculo de um UD_{max} e de um WD_{max} . Perron (2005) explica a utilidade desta abordagem para determinar o número de quebras.

O último dos testes abordados em BP03 é o já mencionado em BP98 teste de l versus $l + 1$ alterações, chamado $\sup F_T(l + 1|l)$ que consiste na aplicação de $(l + 1)$ testes da hipótese nula da não existência de alterações de estrutura versus a hipótese alternativa de uma única mudança⁸. Os autores concluem numa rejeição a favor do modelo com $(l + 1)$ quebras se o valor global mínimo da soma dos resíduos quadrados (em todos os segmentos onde for incluído mais uma quebra) é suficientemente menor do que a soma dos resíduos quadrados do modelo com l quebras. Após esta análise, a data da quebra selecionada é aquela associada ao dito mínimo global.

Os autores apresentam seguidamente os critérios de informação *Bayesian Information Criterion* (BIC), proposto por Schwarz (1978) e o LWZ proposto por Liu, Wu & Zidek (1997), sendo este último uma modificação do critério de Schwarz. Perron (1997) apresenta uma simulação do comportamento destes dois critérios. É concluído que ambos os critérios funcionam mal na presença de autocorrelação nos erros, mas têm potências distintas quando ela não existe. Nesses casos, quando não há autocorrelação, mas existe uma variável dependente desfasada, o BIC apresenta um mau funcionamento quando o coeficiente dessa variável é maior, sendo preferível nesses casos o LWZ (com a desvantagem de subestimar o número de quebras se as existirem).

Sugerem os autores em BP03, finalmente, que a abordagem por eles recomendada é a aplicação sequencial do teste $\sup F_T(l + 1|l)$, utilizando a estimativa sequencial das quebras. Esta estratégia, segundo os mesmos, funciona melhor que a aplicação dos

⁸ Teste *Sequential L+1 breaks vs L*.

critérios BIC e LWZ. Em casos em que seja desafiante aplicar esta metodologia, recomendam realizar primeiro os testes UD_{max} e WD_{max} para averiguar se está presente pelo menos uma quebra. Se for esse o caso, então o número de quebras pode ser calculado utilizando o teste *Global L breaks vs. None*, utilizando os minimizantes globais como as datas das mesmas.

2.4.1.3. Outros testes

Brown, Durbin e Evans (1975) propõem-nos, no seu trabalho, uma outra abordagem de teste a *alterações de estrutura*, o teste CUSUM, que assenta no somatório dos *recursive residuals*. Ploberger & Krämer (1992) adaptam o teste anterior aos resíduos dos MMQ, o que, segundo os próprios autores, faz com que o mesmo reaja a mudanças estruturais que ocorram tarde na amostra, o que passaria despercebido na versão *standard* do teste. Os mesmos acrescentam ainda que consideram que nenhuma das versões do teste é uniformemente superior à outra.

Nyblom (1989) apresenta-nos, no seu trabalho, uma outra hipótese de cálculo de alterações de estrutura, que testa a hipótese nula de que todos os coeficientes do modelo são constantes contra a alternativa de que alguns coeficientes são variáveis com o tempo. Hansen (2001) constrói em cima deste teste, com um trabalho que permite testar a consistência de parâmetros individuais, detetando eventuais quebras na amostra sempre que um parâmetro deixe de ser estacionário, isto é, tenha alguma mudança num determinado momento.

2.4.2. Aplicações do teste de Bai & Perron

Tendo em conta que a metodologia para detetar alterações de estrutura de Bai & Perron apresenta as vantagens descritas anteriormente, é natural que tenha sido aplicada em vários outros estudos sobre os mais diversos assuntos.

Dentro do contexto deste trabalho, destacam-se os estudos de Plante & Strickler (2021), que utilizam a metodologia de Bai & Perron para determinar a frequência e o *timing* de alterações de estrutura, a fim de provar que os diferentes tipos de petróleo se estão cada vez mais a homogeneizar. Weideman & Inglesi-Lotz (2017) aplicam BP03 às energias renováveis na África do Sul. Focacci (2022) estuda a relação entre investidores não comerciais e os preços *spot* de petróleo, determinando quebras utilizando BP03. Zarei, Ariff, Hook & Nassir (2015) estudam a evolução das taxas de juro com a mesma

metodologia. Xiong, Sun, Wang, Wang & Liu (2016) aplicam BP03 à correlação entre o preço do crude e o *U.S weekly leading index*. Shaeri, Adaoglu & Katircioglu (2016) utilizam BP03 para determinar a existência de quebras nos retornos do capital próprio com o objetivo de comparar a exposição dos setores financeiro e não financeiro dos USA ao risco do preço do petróleo. Por fim, Tule, Ndako & Onipede (2017) utilizam a metodologia aqui em estudo para detetar quebras em séries temporais de Brent e WTI, para que essas mesmas quebras não venham a pôr em causa as conclusões a que pretendem chegar sobre eventuais derrames entre choques petrolíferos e o mercado de obrigações nigeriano.

Em suma, este ponto não esgota os testes à deteção de alterações de estrutura ou de estabilidade dos parâmetros. No entanto, apresenta vários testes, cada um com as suas vantagens e, acima de tudo, limitações, sendo que as mais incapacitantes são a inaptidão de muitos dos testes para detetar múltiplas quebras ou conhecer o ponto onde as mesmas ocorrem. Dentro dos testes apresentados, destaque para os contributos de Bai & Perron que superaram os desafios enumerados anteriormente ao elaborar testes que permitam a deteção de múltiplos pontos de quebra desconhecidos, enquanto localizam esses pontos. O facto de haver vários estudos, nas mais diversas áreas do saber, a utilizarem a metodologia de Bai & Perron só comprova a robustez da mesma.

3. METODOLOGIA

Conforme enquadrado no capítulo anterior, é fundamental apurar a existência (ou inexistência) de alterações de estrutura em séries temporais para que as percebamos claramente. Tendo os mercados petrolíferos as especificidades também aí listadas, importa perceber se os preços deste bem estiveram sujeitos a alterações de estrutura, e se sim, que acontecimentos as poderão ter causado. Este capítulo tem, então, o objetivo de descrever os dados e a metodologia utilizada para determinar a existência de eventuais alterações de estrutura no mercado de futuros de petróleo WTI entre novembro de 2006 e novembro de 2022.

Identificado o problema de investigação, será esta a abordagem a ser utilizada:

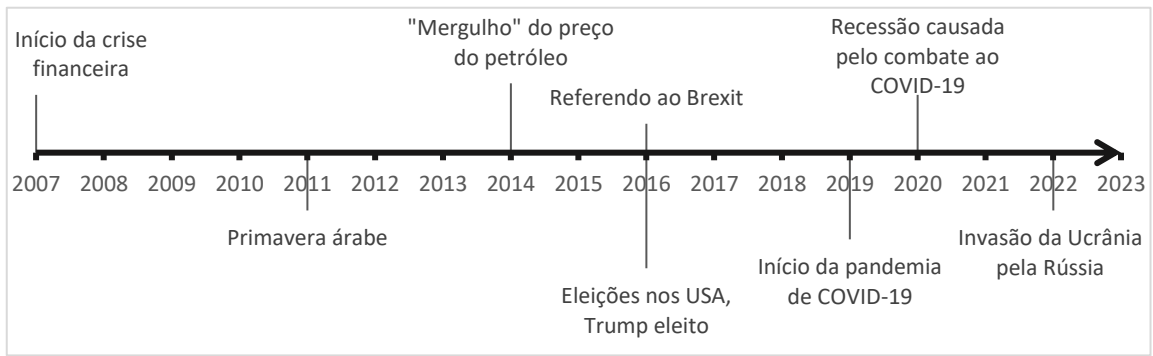
1. Recolha de dados sobre os preços de fecho de contratos de futuros de WTI para várias maturidades. As observações dos mesmos, entre novembro de 2006 e novembro de 2022, têm origem na Bloomberg.
2. Realização dos testes a múltiplas quebras propostos por Bai & Perron (1998, 2003) no *software* econométrico EViews 12. A realização destes testes tem como objetivo a estimação de eventuais alterações estruturais na amostra, para posterior análise.

O período em estudo é entre os dias 20 de novembro de 2006 e 21 de novembro de 2022. Este foi o horizonte temporal escolhido por abranger vários acontecimentos significativos, tanto económicos quanto financeiros, além de marcos geopolíticos que naturalmente resultaram em diversas flutuações nos mercados petrolíferos.

Esses eventos incluem o início da crise financeira em 2007/2008, a ocorrência da Primavera Árabe no final de 2010 e uma acentuada queda nos preços do barril de petróleo a partir de 2014, impulsionada por diversos fatores, com destaque para o excesso de oferta em relação à procura. Além disso, 2016 trouxe o referendo do Brexit e a eleição de Donald Trump, enquanto o final de 2019 marcou o início da pandemia de COVID-19, que, em 2020, causou uma profunda contração económica devido aos impactos da doença, incluindo medidas de confinamento e restrições às atividades. Mais recentemente, em 2022, ocorreu a invasão da Ucrânia por forças russas.

A Figura 3.1 apresenta uma linha do tempo que destaca a sequência destes acontecimentos.

Figura 3.1- Acontecimentos marcantes no período em estudo.



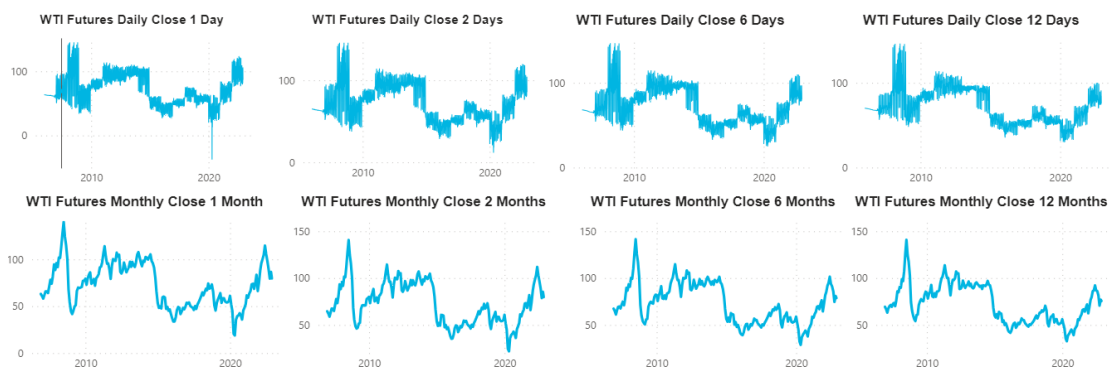
Fonte: Elaboração Própria.

3.1. Amostra

Nesta seção, são apresentados detalhes essenciais sobre a amostra de dados que servirá como base para a análise. A amostra consiste em 4033 observações diárias dos preços de fecho de contratos de futuros de WTI com maturidades de 1,2,6 e 12 dias, bem como 193 observações mensais (reportadas ao último dia útil de cada mês) do mesmo tipo de contratos com maturidades de 1,2,6 e 12 meses. Todas estas observações foram obtidas através da Bloomberg.

A Figura 3.2 fornece uma visualização abrangente de todos os segmentos de observações.

Figura 3.2- Observações dos preços de fecho dos contratos de futuros WTI na amostra em análise.



Fonte: Elaboração Própria.

Inicialmente, considerámos a possibilidade de utilizar um ou ambos dos principais contratos de futuros de petróleo disponíveis atualmente, os quais têm como ativo subjacente dois tipos diferentes de petróleo:

- Brent Crude: Este contrato engloba o petróleo com origem em 15 campos petrolíferos distintos no Mar do Norte e é amplamente utilizado como referência na Europa.
- *West Texas Intermediate* (WTI): Representando uma mistura de petróleo bruto leve dos EUA, este contrato é a principal referência para o mercado petrolífero norte-americano.

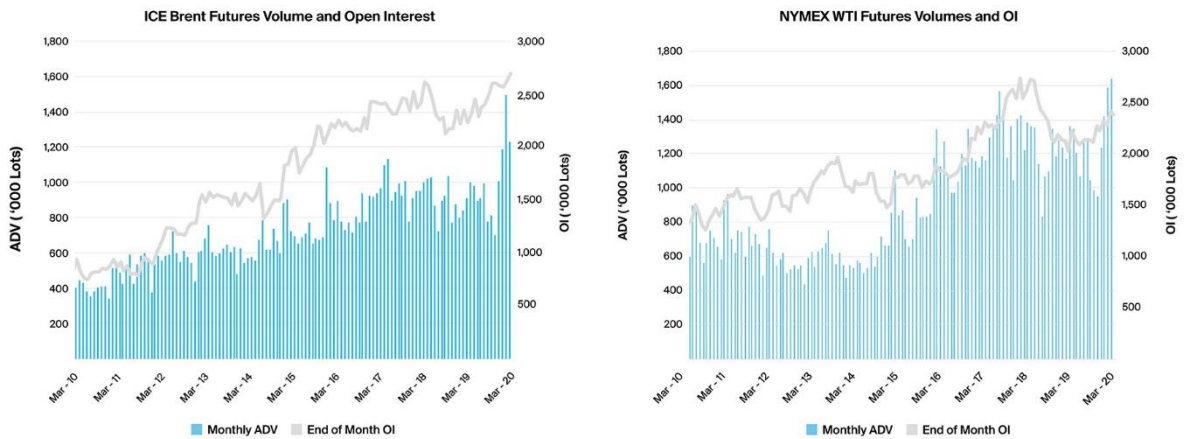
No mercado *spot*, o Brent parece ser a preferência como *benchmark* para monitorar a evolução do preço do petróleo. Embora a maior parte da produção do Brent seja destinada aos mercados europeus, ele também é utilizado como referência na África Ocidental, Mediterrâneo e em alguns mercados do Sudeste Asiático.

Por outro lado, o preço do WTI normalmente apresenta um desconto em relação ao Brent, o que está associado ao forte aumento da oferta de petróleo nos EUA e também ao facto de grande parte da extração ocorrer em zonas afastadas da costa, o que implica custos acrescidos de transporte, uma vez que a maioria das refinarias está localizada em regiões costeiras. Além disso, a limitação na capacidade de armazenamento do WTI é um fator crucial que contribui para a divergência entre os dois tipos de petróleo. Enquanto o WTI é armazenado em Cushing, uma cidade no estado de Oklahoma, com uma capacidade estimada de 75,8 milhões de barris, o Brent é armazenado em todo o mundo, com uma capacidade de aproximadamente 5,35 biliões de barris⁹. Esta relativa limitação de armazenagem torna o WTI muito mais sensível a problemas de excesso de produção (Wittner, 2020).

Decidimos optar pelo WTI em vez do Brent, devido a dois fatores principais. Primeiro, não existe uma diferença significativa em termos de liquidez entre os dois contratos (conforme ilustrado na Figura 3.3). Segundo, o WTI demonstrou uma maior volatilidade em relação ao Brent, como evidenciado na Figura 3.4, devido em parte às dinâmicas de armazenamento e à sua maior sensibilidade a problemas de excesso de produção. Isto torna o WTI uma escolha mais adequada para analisar eventos disruptivos, especialmente aqueles que têm origem nos EUA ou impactam significativamente o país antes de se espalharem globalmente, como a crise financeira de 2007/2008.

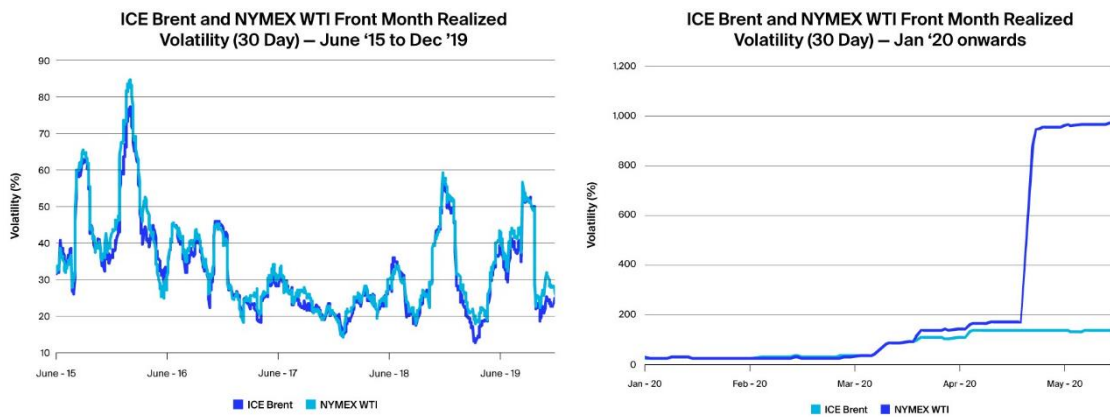
⁹ Os valores da capacidade de armazenagem de Brent e WTI figuram em Wittner (2020) e tem origem na International Energy Agency e na US Energy Information Administration, respetivamente.

Figura 3.3- Média de contratos de futuros negociados e posições abertas para Brent e o WTI, entre março de 2010 e março de 2020.



Fonte: (Wittner, 2020).

Figura 3.4- Volatilidade realizada (30 dias) do Brent e WTI entre junho de 2015 até dezembro de 2019 e a partir de janeiro de 2020.



Fonte: (Wittner, 2020).

3.2. Metodologia de Investigação

Com o objetivo de estudar a existência de alterações de estrutura na série temporal em análise, é aplicada a metodologia de Bai & Perron (1998, 2003), pelas suas características únicas já enquadradas na Revisão de Literatura. Conforme destacado por Hansen (2001), os testes à presença de alterações de estrutura são úteis na medida em que permitem identificar eventos associados a essas alterações. Uma vez que os testes de Bai & Perron (1998, 2003) permitem detetar e localizar múltiplos pontos de quebra desconhecidos, foi esta a metodologia escolhida.

3.2.1. O Teste *Global L Breaks vs. None*

Este teste, já devidamente enquadrado na Revisão de Literatura, analisa a hipótese da existência de pelo menos uma quebra (isto é, de um dado número l de quebras otimizado) na série temporal em estudo, tal que:

H_0 : Não se verifica a existência de qualquer quebra na série temporal

H_1 : Verifica-se a existência de pelo menos uma quebra na série temporal

Este teste é descrito como sequencial pelo *software* em uso, o EViews, já que funciona de forma a procurar a existência de uma quebra (e rejeição de H_0) e uma vez que o consiga, a amostra é dividida em duas na data de quebra estimada e feito novo teste a essa nova subamostra. A sequência só se interrompe quando encontrada uma subamostra que não rejeite H_0 , conforme explicado pelo próprio EViews (IHS Global Inc. , 2020).

Para se evitar a problemática, já descrita anteriormente neste trabalho, da inferência *a priori* de um número de quebras o EViews computa as estatísticas de $UDmax$ e $WDmax$ que estimam o número de quebras presente na amostra.

BP03 apresenta-nos a seguinte regressão linear (com m quebras e $m + 1$ regimes):

$$y_t = x'_t \beta + z'_t \delta_j + u_t \quad , \quad t = T_{j-1} + 1, \dots, T_j \quad (1)$$

Com $j = 1, \dots, m + 1$. Para este modelo temos y_t como a variável dependente observável no momento t ; x_t ($p \times 1$) e z_t ($q \times 1$) são vetores das covariáveis e β e δ_j ($j = 1, \dots, m + 1$) são os correspondentes vetores dos coeficientes; u_t é a perturbação no momento t . Os índices (T_1, \dots, T_m), correspondentes aos pontos de quebra, são tratados como desconhecidos (tomando $T_0 = 0$ e $T_{m+1} = T$), com o intuito de estimar os coeficientes incógnitos da regressão juntamente com os pontos de quebra quando T observações em (y_t, x_t, z_t) estiverem disponíveis. É acrescentado ainda na mesma referência pelos autores que o modelo é de mudança estrutural parcial tendo em conta que β não está sujeito a mudanças e é estimado utilizando toda a amostra. Quando $p = 0$ temos um modelo de pura mudança estrutural onde todas os coeficientes estão sujeitos a mudanças. Por fim, é ainda explicado que para o modelo em causa a variância de u_t não necessita de ser constante, sendo que pode haver quebras na mesma desde que coincidam com momentos de quebras (alterações) detetadas nos parâmetros da regressão.

A estimação é feita com base no MMQ, sendo que a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) é dada por:

$$SQR = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{t=T_{i-1}}^{T_i} (y_t - x'_t \beta - z'_t \delta_i)^2 \quad (2)$$

Serão $\hat{\beta}(\{T_j\})$ e $\hat{\delta}(\{T_j\})$ as estimativas para cada uma das m quebras e (T_1, \dots, T_m) denotado como $\{T_j\}$. Tomando SQR por $S_T(T_1, \dots, T_m)$ temos os pontos de quebra estimados $(\hat{T}_1, \dots, \hat{T}_m)$, tais que:

$$(\hat{T}_1, \dots, \hat{T}_m) = \underset{(T_1, \dots, T_m)}{\operatorname{argmin}} S_T(T_1, \dots, T_m) \quad (3)$$

A minimização é efetuada em todas as partições (T_1, \dots, T_m) tais que $T_i - T_{i-1} \geq q^2$ (sendo q o número de alterações presentes na amostra).¹⁰ Assim, todos os estimadores dos pontos de quebra são minimizantes globais da função objetivo e os parâmetros da regressão tornam-se estimativas de mínimos quadrados associados à partição m , isto é:

$$\hat{\beta} = \hat{\beta}(\{\hat{T}_j\}) \text{ e } \hat{\delta} = \hat{\delta}(\{\hat{T}_j\}). \quad (4)$$

3.2.2. O Teste de l versus $l + 1$ Breaks

Outro teste sequencial abordado em BP03, é o que tem:

H_0 : Verifica-se a existência de um número l de quebras

H_1 : Verifica-se a existência de um número $l + 1$ de quebras

Este teste, sinalizado como $\sup F_T(l + 1|l)$, consiste na aplicação de $(l + 1)$ testes da hipótese nula da não existência de alterações de estrutura *versus* a hipótese alternativa de uma única mudança. O teste é então aplicado a cada segmento que contenha as observações \hat{T}_{i-1} até \hat{T}_i ($i = 1, \dots, l + 1$). Os autores concluem numa rejeição a favor do modelo com $(l + 1)$ quebras se o valor global mínimo da soma dos resíduos quadrados (em todos os segmentos onde for incluído mais uma quebra) é suficientemente menor do que a SQR do modelo com l quebras. Após esta análise, a data da quebra selecionada é aquela associada ao dito mínimo global. Importa saber que os autores definem os valores críticos de *trimming* em $\varepsilon = 0.05$ para um q que varie entre 1 e 10, bem como valores

¹⁰ O modelo e explicação das suas variáveis e propósitos foi direta e exclusivamente retirado do artigo em tratamento “*Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models*” de Joshuan Bai e Pierre Perron, publicado em 2003.

críticos adicionais de $\varepsilon = 0.10, 0.15, 0.20$ e 0.25 apresentados em Bai & Perron (2003b).

13

Neste trabalho será utilizado o teste *Global L breaks vs. None*, com o número de quebras determinado pelas estatísticas de *UDmax* e *WDmax*.¹¹

¹¹ Perron (2005) resume a utilidade desta abordagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados da aplicação do método de Bai & Perron à amostra, nos termos melhor descritos no ponto anterior. Posteriormente serão discutidos esses resultados com o objetivo de os associar, ou não, a eventos socioeconômicos reais.

4.1. Estatística descritiva

Para uma melhor compreensão das séries de observações dos preços de fecho dos futuros de WTI que compõem a amostra, apresentam-se na tabela 4.1 as principais características dessas observações.

Tabela 4.1- Estatística descritiva dos dados da amostra.

	Série	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Desvio- Padrão	Variância	Curtose	Assimetria
Daily	1 Dia	72,446	70,530	145,290	-37,630	23,385	546,858	-0,592	0,185
	2 Dias	72,755	70,740	145,860	11,570	22,883	523,643	-0,685	0,231
	6 Dias	73,059	70,020	146,850	24,730	21,628	467,779	-0,576	0,297
	12 Dias	72,665	70,320	146,320	29,630	20,617	425,067	-0,429	0,362
Monthly	1 Mês	72,666	69,960	140,000	18,840	23,101	533,637	-0,707	0,185
	2 Meses	72,942	70,940	140,580	21,850	22,664	513,665	-0,699	0,217
	6 Meses	73,158	71,000	141,560	28,720	21,472	461,052	-0,581	0,301
	12 Meses	72,711	70,050	140,870	32,610	20,524	421,219	-0,437	0,370

Fonte: Elaboração Própria.

Como se conclui pela tabela acima, todas as séries aqui em estudo são platicúrticas e assimétricas positivas. Por esse mesmo motivo as suas estatísticas descritivas serão interpretadas da mesma maneira.

A sua natureza platicúrtica indica-nos que a maioria dos valores das séries se encontram mais distribuídos, isto é afastados dos valores centrais. Esses valores centrais de média (que varia entre os 72,446\$ e os 73,158\$) e mediana (que varia entre os 69,960\$ e os 71\$) revelam também que as nossas séries são assimétricas positivas, já que a média é em todos os casos superior à mediana e os valores da assimetria são positivos.

Os máximos e os mínimos indicam os preços de fecho mais altos e mais baixos dos contratos de futuros de WTI que compõem a nossa amostra, onde se destaca aqui o valor

mínimo negativo de 37,36\$ na série de observações diárias de contratos com maturidade de 1 dia, pelos motivos que serão discutidos mais adiante.

Verificamos ainda na tabela 4.1 que à medida que os dias/meses de maturidade dos contratos aumentam a variância e o desvio-padrão diminuem, o que nos indica uma menor volatilidade nas oscilações das séries.

4.2. Resultados

Nesta secção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através da aplicação da metodologia de Bai & Perron.

Para a implementação desta metodologia, realizada no software EViews, estimou-se o modelo de regressão pelo MMQ (no menu *Equation Estimation*). Este modelo consiste num regressor constante e permite correlação em série que difere entre os regimes, usando a estimação de covariância pelo HAC. Foram consideradas até 5 quebras no modelo e aplicada uma percentagem de *trimming* de 15% (IHS Global Inc. , 2020).

Nas opções do HAC¹² no separador *Whitening Options* definimos a *Lag Specification* foi como fixa, com o *Number of lags* igual a 1. No separador *Kernel Options*, o *Kernel* foi colocado como *Quadratic-Spectral*, para permitir autocorrelação nos erros, e a *Bandwidth method* foi definida como *Andrews Automatic* , com um *offset* definido em 0. A especificação das equações (houveram várias já que cada série de observações teve o seu próprio teste) foi então definida como *close c* , onde *close* era o nome da coluna onde em cada série estavam registados os preços de fecho dos contratos de futuros, e *c* o regressor constante abordado no parágrafo anterior. As regressões (anexos 1 a 8) foram feitas assim segundo as instruções do próprio EViews (IHS Global Inc. , 2020) para a aplicação da metodologia de Bai & Perron.

Após a construção das regressões, procedeu-se aos testes. Os testes à deteção de múltiplos pontos de quebra podem ser acedidos no menu *View/ Stability Diagnostics/ Multiple Breakpoint Test* na regressão estimada. Nesta etapa foi seleccionada a opção *Global L breaks vs. None*, com uma *Trimming percentage* de 15, um nível de significância de 0,05

¹² *Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent*. Garante a consistência da regressão em termos de heteroscedasticidade e autocorrelação, fazendo com que a mesma cumpra os pressupostos necessários à realização da metodologia de Bai & Perron.

e um número máximo de quebras definido em 5, conforme o manual do utilizador do EViews). Os resultados estão apresentados na tabela 4.2.

Tabela 4.2- Resultados da aplicação do teste *Global L breaks vs. None* à amostra.

Série	Nº. De Quebras		Data das Quebras	
	<i>WDmax</i>	<i>UDmax</i>		
Daily	1 Dia	3	3	12/02/2010, 11/26/2014, 7/02/2020
	2 Dias	4	4	12/13/2010, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020
	6 Dias	4	4	12/13/2010, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020
	12 Dias	5	3	3/03/2010, 7/24/2012, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020 12/11/2010, 12/12/2014, 7/02/2020
Monthly	1 Mês	5	5	2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M11, 2020M08
	2 Meses	4	4	2010M12, 2014M11, 2017M10, 2020M08
	6 Meses	5	5	2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M10, 2020M08
	12 Meses	5	5	2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M11, 2020M08

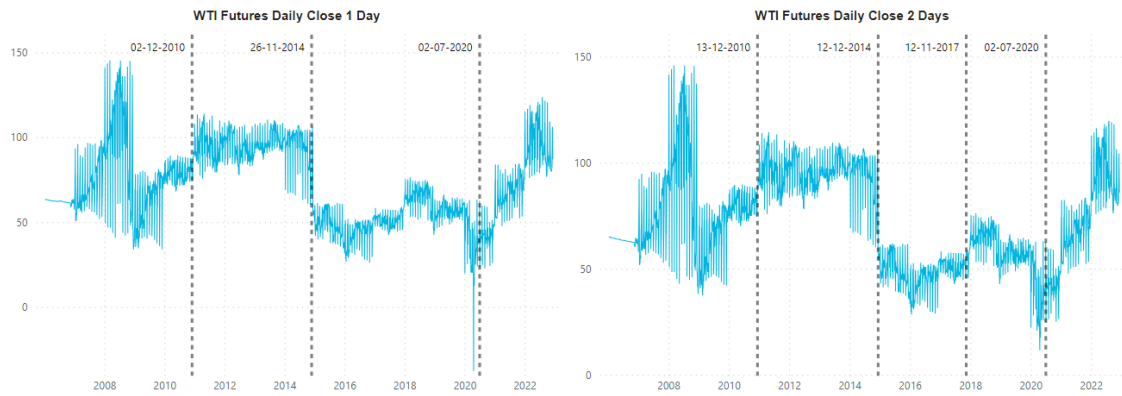
Fonte: *Elaboração Própria.*

Durante a realização dos testes e conforme os *outputs* obtidos (anexos 9 a 16), o EViews calculou o número de quebras de maneira sequencial e por meio dos testes *double maximum*, o *WDmax* e o *UDmax*. Conforme mencionado anteriormente, o critério para escolher o número de quebras são os resultados destes últimos testes, que, com exceção do caso descrito no parágrafo seguinte, são convergentes. Esta convergência dá-nos confiança nos resultados.

Na série de contratos com maturidade a 12 dias, os testes *WDmax* e *UDmax* apresentam resultados diferentes em relação ao número de quebras. Por simplificar a análise, optou-se por considerar as 3 quebras sugeridas pelo teste *UDmax*.

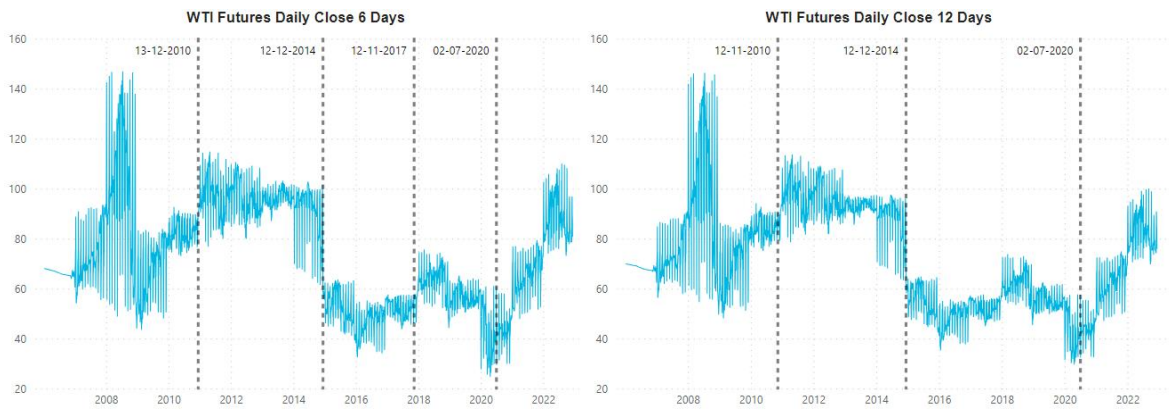
Além da convergência nos resultados dos testes *double maximum*, é importante mencionar que as datas identificadas para as quebras geralmente referem-se ao mesmo período, exceto em casos isolados. Esta situação dá confiança para afirmar que, de facto, ocorreram um (ou mais) evento(s) que afetaram significativamente os preços do WTI nesse período. Antes de analisar as possíveis causas, apresentam-se graficamente os resultados dos testes listados na Tabela 4.2 (Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4).

Figura 4.1.- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade diária a 1 e 2 dias, e suas respectivas quebras.



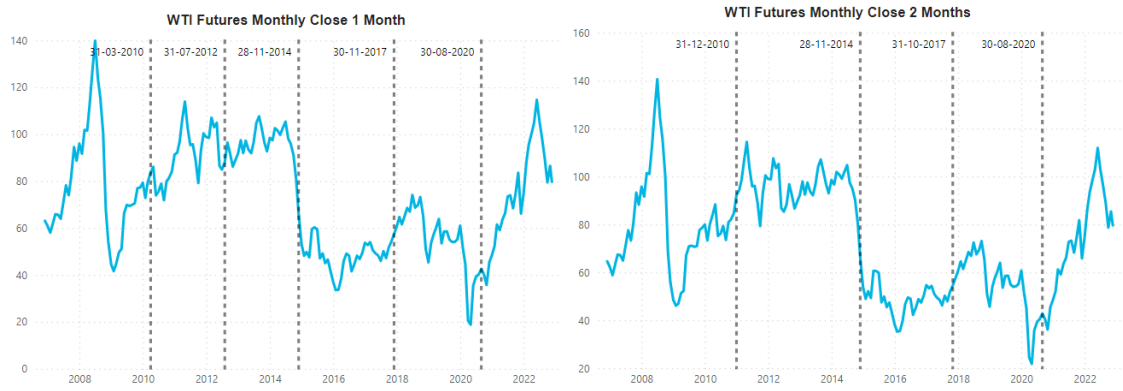
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 4.2.- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade diária a 6 e 12 dias, e suas respectivas quebras.



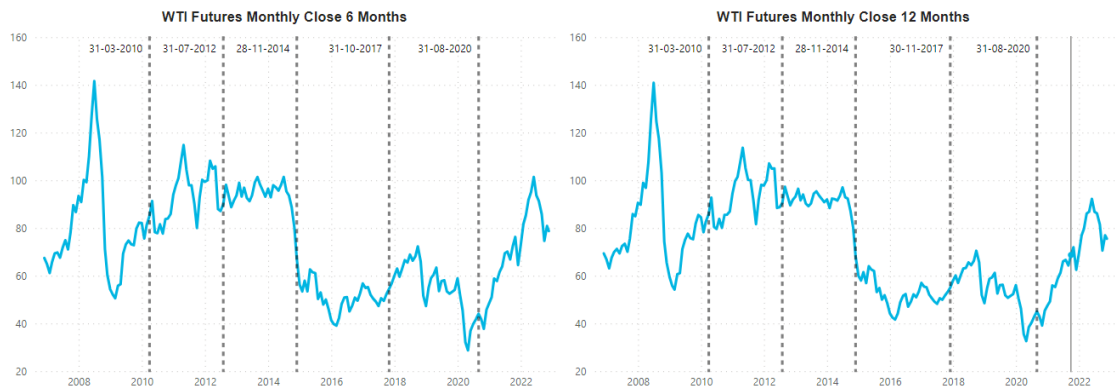
Fonte: Elaboração Própria.

Figura 4.3.- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade mensal a 1 e 2 meses, e suas respectivas quebras.



Fonte: Elaboração Própria.

Figura 4.4.- Observações dos preços de fecho de contratos futuros de WTI de maturidade mensal a 6 e 12 meses, e suas respectivas quebras.



Fonte: Elaboração Própria.

4.3. Discussão de Resultados

Depois de apresentados os resultados, segue-se agora a sua respetiva discussão. Antes do comentário às quebras encontradas, uma menção às ausências notáveis.

Foi abordado na Revisão de Literatura o quão impactante foi a crise financeira de 2008, pelo que seria de esperar que a mesma constituísse uma quebra. A falta de observações antes de 2008 (a nossa amostra começa em novembro de 2006) parece ser o principal impedimento para se chegar a conclusões sobre a eventual existência de quebra nessa data. Não se consegue, porém, chegar a mais conclusões sobre quebras nesse período sem se realizar novo conjunto de testes, com uma amostra com mais observações antes de 2008. O mesmo vale sobre o conflito a leste da Europa entre a Rússia e a Ucrânia. Embora com impacto (por enquanto) menos documentado na literatura, para chegarmos a conclusões sobre quebras eventualmente decorrentes desse conflito, seria interessante termos uma amostra com mais observações desde novembro de 2022, já que, conforme já definido, para existir uma alteração de estrutura é necessário verificar-se uma mudança duradoura na amostra. A durabilidade desse impacto não se consegue verificar com as relativamente poucas observações que temos depois de fevereiro de 2022 (início da invasão russa à Ucrânia).

Outro comentário, antes de iniciar a análise aos resultados obtidos, para as observações dos dias 20 e 21 de abril de 2020. Nestes dias foram atingidos mínimos históricos, tendo inclusive, no caso das observações diárias de futuros de WTI com maturidade de um dia sido registado o valor de 37,63\$ negativos no dia 20 de abril. Nas outras séries, quer diárias quer mensais, embora com valores já em território positivo, foram encontradas nestes dias de 20 e 21 de abril de 2020 (e no mês de abril de 2020 no caso das observações mensais) os valores mínimos da amostra. Esta amostra terá sido causada por problemas na armazenagem do WTI, que devido à grande redução da procura causada pelas restrições impostas pela pandemia de Covid-19, terá estado sob pressão. O facto de esta problemática ter sido normalizada em observações seguintes, pode explicar a ausência de uma quebra nesta data.

Para analisar os resultados aos testes, agrupam-se na tabela 4.3 os resultados que dizem respeito a um mesmo período e associam-se a eles um conjunto de acontecimentos

contemporâneos às quebras detetadas que, com elas, poderão ter tido uma relação de causalidade.

Tabela 4.3- Acontecimentos Contemporâneos ao período das quebras.

Quebra	Acontecimentos Contemporâneos
Março e dezembro/2010	Recuperação Económica Início da Primavera Árabe Aumento das Condições de Liquidez no 2.º Semestre de 2010 e Bons Dados Económicos
Julho/2012	Tensões Geopolíticas no Irão, Síria, Sudão e Yemen Reversão das expectativas de crescimento económico Atenuamento das preocupações com a Crise da Dívida Soberana do Euro
Novembro e dezembro/2014	Reunião Anual da OPEP decide manter produção (expectativa que descesse) Desaceleração económica global e redução da procura por petróleo <i>Crash do preço do petróleo</i>
Outubro e novembro/2017	Cumprimento Máximo do Acordo da OPEP (de 2016) para a redução da produção Bons Dados Económicos
Julho e agosto/2020	Pandemia de COVID-19 e forte redução da procura Corte na produção da OPEP não acompanhado pela Rússia Período marcado por grande volatilidade nos preços

Fonte: *Elaboração Própria.*

Começamos a nossa análise com uma quebra em março de 2010, que se associa a indícios de recuperação económica. No mesmo ano de 2010, mas em dezembro, encontra-se nova quebra que coincide com o início da Primavera Árabe, um período de grande instabilidade política no Médio Oriente, uma região onde se encontram alguns dos maiores produtores petrolíferos e muitos dos membros da OPEP, sendo que alguns dos quais, nomeadamente a Líbia, foram fortemente afetados por este movimento, vivendo guerras civis e mudanças de regime. Estes acontecimentos e preocupações com a Primavera Árabe poderão ter tido um efeito de subida de preços do WTI devido a quebras de produção petrolífera em países produtores afetados (ou a expectativa que elas venham a acontecer), aumentando a procura por este tipo de petróleo produzido nos EUA. A eventualmente aumentar a procura por WTI esteve também no segundo semestre de 2010 um aumento das condições de liquidez tornando o petróleo atrativo como ativo de investimento e bons dados económicos a fazer rever em alta a procura por este bem, face ao primeiro semestre do ano.

Em 2012, segue-se uma quebra em julho, com uma forte descida dos preços após os mesmos estarem em alta nos primeiros meses do ano, segundo a *U.S. Energy Information Administration* (EIA) devido a notícias económicas positivas (nomeadamente com um Atenuamento das preocupações com a crise das dívidas soberanas na europa) e a uma preocupação com eventuais disrupções produtivas no Irão, Síria, Sudão e Yemen. Nos meses seguintes, culminando com a quebra em julho, os preços desceram e mantiveram-se relativamente baixos devido a uma revisão em baixa das expectativas de crescimento económico (EIA, 2012).

O ano de 2014 para o mercado do petróleo foi marcado por uma quebra no final do ano e nova descida nos preços. Em novembro, a OPEP reuniu-se e contra as expectativas que iam no sentido que descesse a produção, decidiu manter os níveis produtivos, parecendo confortável com preços baixos. Também nos EUA a produção terá sido superior à procura, o que naturalmente se terá refletido em preços baixos. A juntar a estes fatores produtivos acresceu-se também uma desaceleração económica em alguns países, causando uma redução da procura por petróleo, o que não se tinha verificado nos anos anteriores (em que o nível de produção havia sido o mesmo). Um acontecimento geopolítico que pode ter atenuado esta tendência terá sido a invasão da península ucraniana da Crimeia pela Rússia, resultando em sanções a um dos maiores produtores mundiais (Mead & Stiger, 2015).

Em outubro e novembro de 2017 é encontrada nova quebra, a qual se pode relacionar com dois fatores que simultaneamente a poderão explicar. Primeiramente, em novembro de 2016, foi anunciado pela OPEP mais 10 países não pertencentes à OPEP (OPEP+) um corte produtivo em 1.8 milhões de barris por dia, sendo a primeira vez que a OPEP coordena um corte de produção com países não pertencentes a essa organização. Em outubro e novembro de 2017, esse acordo estava a ser cumprido na totalidade, com a expectativa de prolongamento para além de março de 2018. A acompanhar esse inédito corte produtivo, a economia global em 2017 apresentou bons indicadores, reforçando a tendência de subida dos preços de petróleo.

Por fim, em 2020, é encontrada a última quebra da nossa amostra, este que foi um ano rico em acontecimentos e volatilidade nos preços petrolíferos. Estes 12 meses foram marcados pela pandemia de COVID-19, que devido a medidas de contenção da doença enviou a economia para uma profunda recessão, já que foram impostas fortes medidas

restritivas à atividade econômica, que naturalmente causaram uma grande e subida redução na procura de produtos petrolíferos. Em junho desse ano a OPEP e seus parceiros haviam de se reunir para decidir uma redução na produção petrolífera que se ajustasse à reduzida procura e protegesse de nova descida de preços. A Rússia não cooperou e manteve os seus níveis produtivos, inundando o mercado com uma oferta de petróleo muito superior à procura, o que fez com que os preços se mantivessem muito baixos, só vindo a recuperar no fim do ano.

Com estes resultados e as respetivas sugestões de acontecimentos causadores, determinase então que as forças macroeconómicas da procura e da oferta parecem ser suficientes para explicar quebras no preço dos contratos de futuros de WTI, sem a necessidade de incorporar na nossa análise fatores como a especulação ou o *sentiment* do mercado, conforme concluíram Smith (2009), Alquist & Gervais (2013), Kilian & Lee (2014), Focacci (2023), entre outros. Ainda no âmbito da importância da força da procura na determinação de preços, importa então traçar o paralelismo encontrado entre este trabalho e os de Kilian (2009) e Kang & Ratti (2013), já que os eventos contemporâneos às quebras indicados neste trabalho são na sua maioria relacionados com a procura. Em contrapartida Kilian & Vega (2008) argumentam que o preço de WTI não variam instantaneamente em função de notícias macroeconómicas norte-americanas. Apesar de aqui se relacionarem movimentos macroeconómicos às quebras, também não encontramos suporte de que a divulgação de uma determinada estatística esteja relacionada com uma quebra, que tem sempre mais que um evento (macroeconómico ou não) contemporâneo que a ela possa estar relacionada.

Reiteram-se também as conclusões chegadas por Karali, Ye & Ramirez (2018) no sentido em que este trabalho é evidência de que eventos verdadeiramente não antecipados (como por exemplo ataques terroristas) têm um impacto limitado ao curto prazo, isto é, no nosso caso, não constituem alterações de estrutura. Veja-se o exemplo já discutido anteriormente do dia 20 de abril em que o preço de fecho do contrato de futuros com maturidade de um dia de WTI foi negativo, sem que isso constituísse uma quebra. Outro exemplo será o derrame de petróleo do *Deepwater Horizon* ao longo da costa dos EUA e do México final de abril de 2010, o maior desastre deste tipo à data, que também não constituiu alteração de estrutura.

Um último comentário sobre as conclusões a que chegámos sobre o papel da OPEP (e OPEP+) na definição dos preços. Quint & Venditti (2020) atribuem a esta organização um papel existente mas marginal na definição dos preços do petróleo. Este trabalho vai em linha com as conclusões destes autores no sentido de demarcar um papel desta organização na definição dos preços, não conseguindo, por não ser de natureza quantitativa, determinar o peso dessa influência da OPEP.

De notar que aliado a todos estes fatores aqui discutidos, forças como outras tensões geopolíticas, dados macroeconómicos, variações na cotação de divisas (nomeadamente o dólar), mudanças regulatórias, inventários, avanços tecnológicos, especulação ou ainda o *sentiment* do mercado são sempre determinantes ao preço do petróleo, como já abordado ao longo deste trabalho. Mesmo que, por vezes, não causem nos preços uma reação forte o suficiente para constituir uma alteração de estrutura, devem sempre ter tidas em conta no estudo de qualquer variação no preço.

5. CONCLUSÕES

Os resultados expostos no capítulo anterior e a sua respetiva discussão, permitem-nos perceber um conjunto de relações que poderão ser extrapoladas para outras amostras ou outros produtos petrolíferos, com as devidas cautelas, já que cada produto ou período terá as suas especificidades. A testagem à nossa amostra e o estudo dos seus resultados, permitem-nos chegar às conclusões pautadas nos parágrafos seguintes.

Em primeiro lugar, conclui-se que efeitos macroeconómicos parecem ser os principais causadores de alterações de estrutura nos mercados petrolíferos, ou pelo menos, no que diz respeito ao comportamento dos contratos negociados no WTI. As alterações de estrutura detetadas ocorrem maioritariamente em contextos caracterizados por movimentos da procura, especialmente aqueles associados a recessões económicas ou a existência de dados económicos acima ou abaixo das expectativas. Não se identificou nenhuma quebra que não estivesse relacionada com um evento macroeconómico que influenciasse a procura de petróleo na mesma direção do preço do petróleo após a quebra.

Em segundo lugar este estudo sugere que a OPEP (e a OPEP+), enquanto órgão político, exerce uma influência significativa na definição dos preços petrolíferos. Nem todas as decisões desta organização resultam em alterações de estrutura, mas verificou-se que, em alguns casos, quando as decisões produtivas da OPEP coincidem com um cenário macroeconómico favorável a uma alteração de estrutura, ocorrem quebras que coincidem com essas decisões.

Em terceiro lugar, constatou-se que eventos geopolíticos não são, por norma, causadores de alterações de estrutura. Embora exista uma menção à Primavera Árabe relacionada com a quebra de 2010, é importante notar que este acontecimento teve impactos profundos em vários países produtores de petróleo ao mesmo tempo, colocando em risco a estabilidade de todo o médio-orient. Eventos geopolíticos restritos a um único país e/ou de impacto momentâneo não parecem ter um impacto forte o suficiente para causar alterações de estrutura.

Também é importante destacar os desafios encontrados durante a realização deste trabalho. Em primeiro lugar, a amostra apresentou desafios, principalmente devido ao seu tamanho, especialmente nas séries de observações mensais, e pelo período a que a mesma

se refere. Uma amostra mais extensa, com mais observações antes de novembro de 2006 permitiria investigar a possível quebra em 2008 devido à recessão nos EUA, que posteriormente afetou outras economias. A detecção (ou não) de uma quebra nesta data permitiria abordar a premissa de que os mercados petrolíferos mudaram de comportamento após esta crise (como sugerido por Liu *et al*, 2018).

Outro desafio encontrado foi a aparente melhor aderência da metodologia quando aplicada às séries de observações diárias. Graficamente, um eixo vertical traçado na data das quebras parece separar melhor os diferentes movimentos nas séries de observações diárias, que possuem um maior número de observações, do que nas mensais, que possuem um número menor de observações. Perante esta questão, enfatiza-se a necessidade de trabalhar com uma amostra ainda maior para obter resultados potencialmente mais convergentes.

Ainda no que toca aos desafios encontrados, realça-se também a dificuldade em associar uma determinada alteração de estrutura a um acontecimento específico. Sem cair na armadilha da causalidade¹³, não podemos saber com certeza qual dos acontecimentos foi o maior responsável por uma determinada quebra, o que torna mais difícil a retirada de conclusões.

Tendo em conta as limitações encontradas nesta abordagem, conforme detalhado nos parágrafos anteriores, existe uma clara oportunidade para investigações futuras que considerem uma amostra abrangendo um período maior, abordando assim algumas das questões discutidas anteriormente. Além disso, uma oportunidade adicional de investigação futura envolve a comparação destes resultados, ou outros no mesmo domínio, com os movimentos dos preços de outros ativos, a fim de inferir possíveis correlações ou derrames de volatilidade.

Por fim, um comentário sobre o desafio que este trabalho constituiu. Começou pela necessária revisão de literatura e organização de informação, à qual se seguiu a implementação de uma metodologia por ele ainda desconhecida, e terminou com uma cuidada e exigente análise aos resultados. Todos estes passos, em determinado momento, constituíram um desafio, a seu tempo superado com a preciosa ajuda dos orientadores.

¹³ Inferir causalidade devido a correlação.

Fica o sentimento de missão cumprida, e a esperança de conseguir inculcar em quem lê este trabalho uma maior percepção das forças que movem os mercados petrolíferos, e que acontecimentos parecem ser mais determinantes à definição do preço do petróleo. A percepção do funcionamento destes mercados é fundamental, já que este é um ativo essencial à nossa economia, cujos preços foram, muitas vezes, a ordem do dia nos últimos tempos.

Referências Bibliográficas

- Alquist, R., & Gervais, O. (2013) The Role of Financial Speculation in Driving the Price of Crude Oil. *The Energy Journal*, 34(3). <https://doi.org/10.5547/01956574.34.3.3>
- Andrews, D. W. K. (1993) Tests for Parameter Instability and Structural Change With Unknown Change Point. *Econometrica*, 61(4), 821. <https://doi.org/10.2307/2951764>
- Andrews, D. W. K., & Ploberger, W. (1994) Optimal Tests when a Nuisance Parameter is Present Only Under the Alternative. *Econometrica*, 62(6), 1383. <https://doi.org/10.2307/2951753>
- Arezki, R., Djankov, S., Nguyen, H., & Yotzov, I. (2022) The Political Costs of Oil Price Shocks (CESifo Working Paper Series, Issue 9763). CESifo. <https://doi.org/DOI:>
- Bai, J. (1997) Estimation of a Change Point in Multiple Regression Models. *Review of Economics and Statistics*, 79(4), 551–563. <https://doi.org/10.1162/003465397557132>
- Bai, J., & Perron, P. (1998) Estimating and Testing Linear Models with Multiple Structural Changes. *Econometrica*, 66(1), 47. <https://doi.org/10.2307/2998540>
- Bai, J., & Perron, P. (2003a) Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models. *Journal of Applied Econometrics*, 18(1), 1–22. <https://doi.org/10.1002/jae.659>
- Bai, J., & Perron, P. (2003b) Critical Values for Multiple Structural Change Tests. *Econometrics Journal*, 6, 72–78. <https://doi.org/10.1111/1368-423X.00102>
- Baumeister, C., & Kilian, L. (2016) Forty Years of Oil Price Fluctuations: Why the Price of Oil May Still Surprise Us. *Journal of Economic Perspectives*, 30(1), 139–160. <https://doi.org/10.1257/jep.30.1.139>
- Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975) Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 37(2), 149–192. <http://www.jstor.org/stable/2984889>

- Brunetti, C., Büyükşahin, B., & Harris, J. H. (2016) Speculators, Prices, and Market Volatility. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 51(5), 1545–1574. <https://doi.org/10.1017/S0022109016000569>
- Burns, C. B., & Kane, S. (2022) Arbitrage Breakdown in WTI Crude Oil Futures: An Analysis of the Events on April 20, 2020. *Resources Policy*, 76, 102605. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102605>
- Büyükşahin, B., & Robe, M. A. (2014) Speculators, Commodities and Cross-market Linkages. *Journal of International Money and Finance*, 42, 38–70. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2013.08.004>
- Casini, A., & Perron, P. (2018) *Structural Breaks in Time Series* (Boston University - Department of Economics - Working Papers Series, Issues WP2019-02). Boston University - Department of Economics. <https://doi.org/DOI:>
- Cepni, O., Khuong Nguyen, D., & Sensoy, A. (2022) News Media and Attention Spillover across Energy Markets: A Powerful Predictor of Crude Oil Futures Prices. *The Energy Journal*, 43(01). <https://doi.org/10.5547/01956574.43.SI1.ocep>
- Cheon, A., Lackner, M., & Urpelainen, J. (2015) Instruments of Political Control: National Oil Companies, Oil Prices, and Petroleum Subsidies. *Comparative Political Studies*, 48(3), 370–402. <https://doi.org/10.1177/0010414014543440>
- Chow, G. C. (1960) Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. *Econometrica*, 28(3), 591. <https://doi.org/10.2307/1910133>
- Coleman, L. (2012) Explaining Crude Oil Prices Using Fundamental Measures. *Energy Policy*, 40, 318–324. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.012>
- Dedi, V., & Mandilaras, A. (2022) Trader Positions and The Price of Oil in the Futures Market. *International Review of Economics & Finance*, 82, 448–460. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2022.06.018>
- Ding, Z., Liu, Z., Zhang, Y., & Long, R. (2017) The Contagion Effect of International Crude Oil Price Fluctuations on Chinese Stock Market Investor Sentiment. *Applied Energy*, 187, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.037>

Dragomirescu-Gaina, C., Philippas, D., & Goutte, S. (2023) How to ‘Trump’ the Energy Market: Evidence from the WTI-Brent spread. *Energy Policy*, 179, 113654. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113654>

Ederington, L., & Lee, J. H. (2002) Who Trades Futures and How: Evidence from the Heating Oil Futures Market. *The Journal of Business*, 75(2), 353–373. <https://doi.org/10.1086/338706>

Ferreira, N., Menezes, R., & Oliveira, M. M. (2013) Structural Breaks and Cointegration Analysis in the EU Developed Markets. *International Journal of Finance, Insurance and Risk Management*, 3(4), 652. [https://doi.org/DOI: ,](https://doi.org/DOI:)

Focacci, A. (2023) Spillovers between Non-commercial Traders’ activity and spot prices? Analysis of the financialization mechanism in the crude oil market. *China Finance Review International*, 13(2), 157–182. <https://doi.org/10.1108/CFRI-07-2022-0110>

Gabriel, V. (2002) Testes de Alteração de Estrutura em Modelos Multivariados: uma visita guiada pela literatura. *Notas Económicas*, 16–33.

Garavini, G. (2020) *The “COVID-Shock” and Future of the Global Oil Market*. Istituto Affari Internazionali (IAI). <http://www.jstor.org/stable/resrep25273>

García-Carranco, S. M., Bory-Reyes, J., & Balankin, A. S. (2016) The Crude Oil Price Bubbling and Universal Scaling Dynamics of Price Volatility. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 452, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.02.006>

Hansen, B. E. (2001) The New Econometrics of Structural Change: Dating Breaks in U.S. Labor Productivity. *Journal of Economic Perspectives*, 15(4), 117–128. <https://doi.org/10.1257/jep.15.4.117>

IHS Global Inc. (2020) *EViews 12 User’s Guide II*, Seal Beach, IHS Markit.

Juvenal, L., & Petrella, I. (2015) Speculation in the Oil Market. *Journal of Applied Econometrics*, 30(4), 621–649. <https://doi.org/10.1002/jae.2388>

- Kang, W., & Ratti, R. A. (2013) Oil shocks, Policy Uncertainty and Stock Market Return. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 26, 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2013.07.001>
- Karali, B., Ye, S., & Ramirez, O. A. (2019) Event Study of the Crude Oil Futures Market: A Mixed Event Response Model. *American Journal of Agricultural Economics*, 101(3), 960–985. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay089>
- Karda, S. (2023) *Keeping The Lights On: The Eu's Energy Relationships Since Russia's Invasion Of Ukraine*. European Council on Foreign Relations. <http://www.jstor.org/stable/resrep49236>
- Kaufmann, R. K., & Ullman, B. (2009) Oil prices, Speculation, and Fundamentals: Interpreting Causal Relations Among Spot and Futures Prices. *Energy Economics*, 31(4), 550–558. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.01.013>
- Kesicki, F. (2010) The Third Oil Price Surge – What's Different this Time? *Energy Policy*, 38(3), 1596–1606. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.044>
- Kilian, L. (2009) Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market. *American Economic Review*, 99(3), 1053–1069. <https://doi.org/10.1257/aer.99.3.1053>
- Kilian, L., & Vega, C. (2008) *Do Energy Prices Respond to U.S. Macroeconomic News? a test of the hypothesis of predetermined energy prices* (International Finance Discussion Papers, Issue 957). Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.). <https://www.jstor.org/stable/23015961>
- Kilian, L., & Lee, T. K. (2014) Quantifying the Speculative Component in the Real Price of Oil: The Role of Global Oil Inventories. *Journal of International Money and Finance*, 42, 71–87. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2013.08.005>
- Kim, A. (2015) Does Futures Speculation Destabilize Commodity Markets? *Journal of Futures Markets*, 35(8), 696–714. <https://doi.org/10.1002/fut.21716>

- Li, X., Ma, J., Wang, S., & Zhang, X. (2015) How does Google Search Affect Trader Positions and Crude Oil Prices? *Economic Modelling*, 49, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.04.005>
- Liu, Z., Ding, Z., Lv, T., Wu, J. S., & Qiang, W. (2019) Financial Factors Affecting Oil Price Change and Oil-stock Interactions: a Review and Future Perspectives. *Natural Hazards*, 95(1–2), 207–225. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3473-y>
- Liu, J., Wu, S., & Zidek, J. v. (1997) On Segmented Multivariate Regression. *Statistica Sinica*, 7(2), 497–525. <http://www.jstor.org/stable/24306090>
- Mead, D. & Stiger, P. (2015) The 2014 Plunge in Import Petroleum Prices: What Happened? *Beyond the Numbers*, 4(9), 1–6.
- Montoro, C. (2012) Oil Shocks and Optimal Monetary Policy. *Macroeconomic Dynamics*, 16(2), 240–277. <https://doi.org/10.1017/S1365100510000106>
- Nyblom, J. (1989) Testing for the Constancy of Parameters Over Time. *Journal of the American Statistical Association*, 84(405), 223. <https://doi.org/10.2307/2289867>
- Ozawa, M., & Tardy, T. (2022) The Russia-Ukraine War and the European Energy Crisis. In *War in Europe: (Preliminary Lessons)*. NATO Defense College. <http://www.jstor.org/stable/resrep41406.9>
- Perron, P. (2005) *Dealing with Structural Breaks* (Boston University - Department of Economics - Working Papers Series, Issues WP2005-017). Boston University - Department of Economics. <https://doi.org/DOI:>
- Perron, P. (1997) Further Evidence on Breaking Trend Functions in Macroeconomic Variables. *Journal of Econometrics*, 80(2), 355–385. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(97\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(97)00049-3)
- Plante, M., & Strickler, G. (2021) Closer to One Great Pool? Evidence from Structural Breaks in Oil Price Differentials. *The Energy Journal*, 42(2). <https://doi.org/10.5547/01956574.42.2.mpla>
- Ploberger, W., & Kramer, W. (1992) The Cusum Test with Ols Residuals. *Econometrica*, 60(2), 271. <https://doi.org/10.2307/2951597>

Quandt, R. E. (1960) Tests of the Hypothesis That a Linear Regression System Obeys Two Separate Regimes. *Journal of the American Statistical Association*, 55(290), 324–330. <https://doi.org/10.1080/01621459.1960.10482067>

Quint, D., & Venditti, F. (2020) The Influence of OPEC+ on Oil Prices: a Quantitative Assessment. In *ECB Working Paper Series* (Vol. 2467).

Schwarz, G. (1978) Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6(2), 461–464. <http://www.jstor.org/stable/2958889>

Shaeri, K., Adaoglu, C., & Katircioglu, S. T. (2016) Oil Price Risk Exposure: A Comparison of Financial and Non-financial Subsectors. *Energy*, 109, 712–723. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.028>

Smith, J. L. (2009) World Oil: Market or Mayhem? *Journal of Economic Perspectives*, 23(3), 145–164. <https://doi.org/10.1257/jep.23.3.145>

Tule, M. K., Ndako, U. B., & Onipede, S. F. (2017) Oil Price Shocks and Volatility Spillovers in the Nigerian Sovereign Bond Market. *Review of Financial Economics*, 35, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.rfe.2017.03.003>

Umar, M., Su, C.-W., Rizvi, S. K. A., & Lobont, O.-R. (2021) Driven by Fundamentals or Exploded by Emotions: Detecting Bubbles in Oil Prices. *Energy*, 231, 120873. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120873>

U.S. Energy Information Administration - EIA - Independent Statistics and Analysis. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/#/?f=A&start=2020&end=2021&charted=4-6-7-14>, (Acedido em 23 de março de 2023)

Weideman, J., Inglesi-Lotz, R., & van Heerden, J. (2017) Structural Breaks in Renewable Energy in South Africa: A Bai & Perron break Test Application. *Renewable and Sustainable Energy REViews*, 78, 945–954. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.106>

Wittner, M. (2020) *What Are the Differences between ICE Brent and NYMEX WTI Futures?*. Disponível em: <https://www.ice.com/insights/market-pulse/what-are-the-differences-between-ice-brent-and-nymex-wti-futures>, (Acedido a 15 de junho de 2023)

Xiong, Y., Sun, S., Wang, Z., Wang, K., & Liu, L. (2016) Application of Structural Breakpoint Test to the Correlation Analysis between Crude Oil Price and U.S. Weekly Leading Index. *Open Journal of Business and Management*, 04(02), 322–328. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2016.42034>

Yagi, M., & Managi, S. (2023) The spillover effects of rising energy prices following 2022 Russian invasion of Ukraine. *Economic Analysis and Policy*, 77, 680–695. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.12.025>

Zarei, A., Ariff, M., Hook, L. & Nassir, A. (2015) Identifying multiple structural breaks in exchange rate series in a finance research. *Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities*, vol. 23, no. S, pp. 155 – 166

Anexos

Anexo 1 – *Output* da regressão da série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 1 dia.

Dependent Variable: CL1_CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 10:49				
Sample: 11/20/2006 11/21/2022				
Included observations: 4033				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.9398)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.44571	6.706845	10.80176	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.44571	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	23.38499	
S.E. of regression	23.38499	Akaike info criterion	9.142314	
Sum squared resid	2204930.	Schwarz criterion	9.143876	
Log likelihood	-18434.48	Hannan-Quinn criter.	9.142867	
Durbin-Watson stat	0.007867			

Anexo 2 – *Output* da regressão da série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 2 dias.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 10:51				
Sample: 1/12/2006 12/10/2022				
Included observations: 4033				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.2364)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.75512	1.788434	40.68092	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.75512	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	22.88325	
S.E. of regression	22.88325	Akaike info criterion	9.098935	
Sum squared resid	2111329.	Schwarz criterion	9.100498	
Log likelihood	-18347.00	Hannan-Quinn criter.	9.099489	
Durbin-Watson stat	0.105089			

Anexo 3 – Output da regressão da série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 6 dias.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 10:52				
Sample: 1/12/2006 12/10/2022				
Included observations: 4033				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 2.8993)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	73.05902	1.824383	40.04587	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	73.05902	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	21.62820	
S.E. of regression	21.62820	Akaike info criterion	8.986121	
Sum squared resid	1886086.	Schwarz criterion	8.987684	
Log likelihood	-18119.51	Hannan-Quinn criter.	8.986675	
Durbin-Watson stat	0.101991			

Anexo 4 – Output da regressão da série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 12 dias.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 10:54				
Sample: 1/12/2006 12/10/2022				
Included observations: 4033				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 2.6653)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.66548	1.926711	37.71477	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.66548	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	20.61716	
S.E. of regression	20.61716	Akaike info criterion	8.890372	
Sum squared resid	1713871.	Schwarz criterion	8.891935	
Log likelihood	-17926.44	Hannan-Quinn criter.	8.890926	
Durbin-Watson stat	0.090500			

Anexo 5 – Output da regressão da série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 1 mês.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 11:02				
Sample: 2006M11 2022M11				
Included observations: 193				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.5992)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.66565	13.28779	5.468602	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.66565	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	23.10059	
S.E. of regression	23.10059	Akaike info criterion	9.122761	
Sum squared resid	102458.4	Schwarz criterion	9.139666	
Log likelihood	-879.3465	Hannan-Quinn criter.	9.129607	
Durbin-Watson stat	0.098410			

Anexo 6 – Output da regressão da série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 2 meses.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 11:02				
Sample: 2006M11 2022M11				
Included observations: 193				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.5744)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.94155	13.28048	5.492388	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.94155	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	22.66417	
S.E. of regression	22.66417	Akaike info criterion	9.084616	
Sum squared resid	98623.61	Schwarz criterion	9.101521	
Log likelihood	-875.6654	Hannan-Quinn criter.	9.091462	
Durbin-Watson stat	0.095023			

Anexo 7 – Output da regressão da série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 6 meses.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 11:04				
Sample: 2006M11 2022M11				
Included observations: 193				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.6308)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	73.15767	13.36370	5.474359	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	73.15767	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	21.47213	
S.E. of regression	21.47213	Akaike info criterion	8.976557	
Sum squared resid	88522.06	Schwarz criterion	8.993462	
Log likelihood	-865.2377	Hannan-Quinn criter.	8.983403	
Durbin-Watson stat	0.086397			

Anexo 8 – Output da regressão da série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 12 meses.

Dependent Variable: CLOSE				
Method: Least Squares				
Date: 09/03/23 Time: 11:05				
Sample: 2006M11 2022M11				
Included observations: 193				
HAC standard errors & covariance (Prewhitening with lags = 1, Quadratic -Spectral kernel, Andrews bandwidth = 3.7276)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	72.71073	13.73255	5.294774	0.0000
R-squared	0.000000	Mean dependent var	72.71073	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	20.52363	
S.E. of regression	20.52363	Akaike info criterion	8.886199	
Sum squared resid	80874.13	Schwarz criterion	8.903104	
Log likelihood	-856.5182	Hannan-Quinn criter.	8.893045	
Durbin-Watson stat	0.076501			

Anexo 9 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 1 dia.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 01/23/23 Time: 17:24 Sample: 11/20/2006 11/21/2022 Included observations: 4033 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		5		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		3		
WDmax determined breaks:		3		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1 *	10.27655	10.27655	10.27655	8.58
2 *	11.38980	11.38980	13.53525	7.22
3 *	57.39393	57.39393	82.62414	5.96
4 *	46.81889	46.81889	80.50222	4.99
5 *	21.29240	21.29240	46.72348	3.91
UDMax statistic*		57.39393	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		82.62414	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p> <p>Estimated break dates: 1: 11/28/2014 2: 11/28/2014, 7/02/2020 3: 12/02/2010, 11/26/2014, 7/02/2020 4: 12/02/2010, 11/28/2014, 10/23/2017, 7/02/2020 5: 2/16/2010, 7/09/2012, 11/28/2014, 10/23/2017, 7/02/2020</p>				

Anexo 10 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 2 dias.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 07/28/23 Time: 18:25 Sample: 1/12/2006 12/10/2022 Included observations: 4033 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		5		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		4		
WDmax determined breaks:		4		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1 *	157.4483	157.4483	157.4483	8.58
2 *	182.0118	182.0118	216.2966	7.22
3 *	570.7901	570.7901	821.7079	5.96
4 *	758.5283	758.5283	1304.243	4.99
5 *	528.2787	528.2787	1159.241	3.91
UDMax statistic*		758.5283	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		1304.243	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates:</p>				
1: 12/12/2014				
2: 12/12/2014, 7/01/2020				
3: 12/13/2010, 12/12/2014, 7/01/2020				
4: 12/13/2010, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020				
5: 3/05/2010, 7/24/2012, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020				

Anexo 11 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 6 dias.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 07/28/23 Time: 18:28 Sample: 1/12/2006 12/10/2022 Included observations: 4033 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		5		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		4		
WDmax determined breaks:		4		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1 *	216.6977	216.6977	216.6977	8.58
2 *	305.8903	305.8903	363.5096	7.22
3 *	700.7808	700.7808	1008.842	5.96
4 *	823.1716	823.1716	1415.393	4.99
5 *	616.7409	616.7409	1353.360	3.91
UDMax statistic*		823.1716	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		1415.393	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates: 1: 12/12/2014 2: 12/13/2010, 12/12/2014 3: 12/13/2010, 12/12/2014, 7/02/2020 4: 12/13/2010, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020 5: 3/03/2010, 7/24/2012, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020</p>				

Anexo 12 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações diárias de contratos futuros de WTI com maturidade de 12 dias.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 07/28/23 Time: 18:29 Sample: 1/12/2006 12/10/2022 Included observations: 4033 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		5		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		3		
WDmax determined breaks:		5		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1 *	278.0630	278.0630	278.0630	8.58
2 *	348.5943	348.5943	414.2575	7.22
3 *	707.2397	707.2397	1018.140	5.96
4 *	672.6790	672.6790	1156.630	4.99
5 *	587.9265	587.9265	1290.130	3.91
UDMax statistic*		707.2397	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		1290.130	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates: 1: 12/12/2014 2: 12/11/2010, 12/12/2014 3: 12/11/2010, 12/12/2014, 7/02/2020 4: 12/11/2010, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020 5: 3/03/2010, 7/24/2012, 12/12/2014, 11/12/2017, 7/02/2020</p>				

Anexo 13 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 1 mês.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 01/23/23 Time: 17:20 Sample: 2006M11 2022M11 Included observations: 193 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		0		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		4		
WDmax determined breaks:		4		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1	3.390418	3.390418	3.390418	8.58
2	5.018634	5.018634	5.963972	7.22
3 *	21.69524	21.69524	31.23241	5.96
4 *	45.11974	45.11974	77.58064	4.99
5 *	29.32242	29.32242	64.34434	3.91
UDMax statistic*		45.11974	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		77.58064	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates:</p>				
1: 2014M11				
2: 2014M11, 2020M08				
3: 2010M12, 2014M11, 2020M08				
4: 2010M12, 2014M11, 2017M10, 2020M08				
5: 2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M10, 2020M08				

Anexo 14 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 2 meses.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 01/23/23 Time: 17:21 Sample: 2006M11 2022M11 Included observations: 193 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		0		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		4		
WDmax determined breaks:		4		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1	3.723107	3.723107	3.723107	8.58
2	5.428729	5.428729	6.451315	7.22
3 *	23.06857	23.06857	33.20946	5.96
4 *	48.36069	48.36069	83.15325	4.99
5 *	33.46013	33.46013	73.42401	3.91
UDMax statistic*		48.36069	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		83.15325	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates:</p>				
1: 2014M11				
2: 2014M11, 2020M08				
3: 2010M12, 2014M11, 2020M08				
4: 2010M12, 2014M11, 2017M10, 2020M08				
5: 2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M10, 2020M08				

Anexo 15 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 6 meses.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 01/23/23 Time: 17:17 Sample: 2006M11 2022M11 Included observations: 193 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		0		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		5		
WDmax determined breaks:		5		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1	5.085118	5.085118	5.085118	8.58
2 *	7.836137	7.836137	9.312197	7.22
3 *	28.54673	28.54673	41.09580	5.96
4 *	52.96393	52.96393	91.06824	4.99
5 *	55.98512	55.98512	122.8522	3.91
UDMax statistic*		55.98512	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		122.8522	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p>				
<p>Estimated break dates:</p>				
1: 2014M11				
2: 2010M12, 2014M11				
3: 2010M12, 2014M11, 2020M08				
4: 2010M12, 2014M11, 2017M10, 2020M08				
5: 2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M10, 2020M08				

Anexo 16 – Output com os resultados dos testes *Global L breaks vs. None* de Bai & Perron à série de observações mensais de contratos futuros de WTI com maturidade de 12 meses.

<p>Multiple breakpoint tests Bai-Perron tests of 1 to M globally determined breaks Date: 01/23/23 Time: 17:23 Sample: 2006M11 2022M11 Included observations: 193 Breaking variables: C Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level 0.05 Test statistics employ HAC covariances (Prewhitening with lags = 1, Quadratic-Spectral kernel, Andrews bandwidth) Allow heterogeneous error distributions across breaks</p>				
Sequential F-statistic determined breaks:		0		
Significant F-statistic largest breaks:		5		
UDmax determined breaks:		5		
WDmax determined breaks:		5		
Breaks	F-statistic	Scaled F-statistic	Weighted F-statistic	Critical Value
1	7.005212	7.005212	7.005212	8.58
2 *	10.23265	10.23265	12.16013	7.22
3 *	28.21780	28.21780	40.62227	5.96
4 *	35.47606	35.47606	60.99892	4.99
5 *	54.89994	54.89994	120.4710	3.91
UDMax statistic*		54.89994	UDMax critical value**	8.88
WDMax statistic*		120.4710	WDMax critical value**	9.91
<p>* Significant at the 0.05 level. ** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.</p> <p>Estimated break dates: 1: 2014M11 2: 2010M12, 2014M11 3: 2010M12, 2014M11, 2020M08 4: 2010M12, 2014M11, 2017M11, 2020M08 5: 2010M03, 2012M07, 2014M11, 2017M11, 2020M08</p>				