

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

IAN BASUALDO PEDREIRA

**O Impacto da taxa de juros no preço das Ações da Petrobras: uma
análise de impulso-reposta**

CAMPO GRANDE – MS

2025

IAN BASUALDO PEDREIRA

O Impacto da taxa de juros no preço das Ações da Petrobras: uma análise de impulso-reposta

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas, sob orientação da Prof.^a Dr. Matheus Wemerson Gomes Pereira

CAMPO GRANDE – MS

2025

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: O Impacto da Política Monetária no Mercado de Ações da Petrobrás. apresentado por IAN BASUALDO PEDREIRA como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas ao Professor Orientador, dentro do prazo legal e com as formalidades exigidas, foi considerado
_____.

Campo Grande – MS, ____ de _____ 2025.

Profº Dr. Matheus Wemerson Gomes Pereira

Profº Dr. Odirlei Fernando Dal Moro

Profº Dr. Wladimir Machado Teixeira

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, ao meu Jesus, que me deu a vida e me guiou desde os primeiros passos até esta etapa de grande felicidade da minha trajetória. Agradeço também à minha família, que me ensinou o valor da educação, da persistência e da perseverança, mesmo quando a vontade e a motivação pareciam faltar. Aos amigos que encontrei pelo caminho, em especial ao Gabriel Magalhães, que tantas vezes dividiu comigo o fardo dos estudos, trabalhos e provas. Ao corpo docente, que despertou em mim o amor pela Economia e me permitiu enxergar o mundo por outra perspectiva, contribuindo para transformar aquele garoto de 18 anos em uma pessoa melhor.

Ao meu amigo Lucas Mikael, que me ajudou de forma singular durante toda a minha caminhada na graduação, sem ele eu não estaria aqui. Obrigado por me ajudar de forma espontânea, me fornecer valiosas orientações para este presente trabalho e de forma constante estar presente na minha jornada.

Aos meus pais, Adriana e Yuri, que enfrentaram a difícil missão de educar um menino birrento e terrível, mas nunca pouparam esforços para me oferecer sempre o melhor e me deram a base necessária para alcançar este e muitos outros sonhos. Ao meu orientador Professor Doutor Matheus Wemerson, que teve a paciência e disponibilidade de me orientar durante o presente trabalho. Ao meu avô Adir e minha vó Judith, com suas infindáveis orações por mim e infinitos presentinhos sempre me encheram daquilo que considero a maior necessidade humana, amor. À minha vó Vergínia, que sempre torna minha vida mais leve com seu senso de humor ácido e com seus valiosos conselhos.

À minha irmã, que foi a minha primeira amiga e companheira nas tardes de novelas mexicanas do SBT, e que me passava as melhores técnicas de estudo ao longo da graduação. Agradeço também ao querido e amado Frederico Bernardo, que foi ao longo dos anos um amigo fiel e companheiro de estudos, sempre dormindo no meu pé enquanto estudava e me acordando com seus latidos quando caía no sono, normalmente debruçado sobre os livros de macroeconomia.

Por fim agradeço ao meu amor, a minha namorada, que quando conheci era só uma caloura do curso de fisioterapia, mas hoje é a minha amada, a mulher que eu amo, a mulher dos meus sonhos e minha futura esposa, Jeanne.

RESUMO

Este trabalho investiga a relação entre a política monetária brasileira e o preço das ações da Petrobras (PETR4) no período de 2015 a 2025, considerando o impacto simultâneo de variáveis macroeconômicas domésticas e externas. A pesquisa utiliza dados mensais e aplica uma abordagem econométrica multivariada baseada em testes de estacionariedade (ADF, PP e KPSS), testes de quebra estrutural (Zivot-Andrews), teste de cointegração de Johansen e modelagem VECM, complementada por Funções de Impulso-Resposta, Decomposição da Variância dos Erros de Previsão e testes de causalidade de Granger. As variáveis analisadas incluem a taxa Selic, a taxa de câmbio nominal, o índice de volatilidade externa (VIX) e o preço internacional do petróleo (Brent). Os resultados indicam que o preço das ações da Petrobras é menos sensível a mudanças na política monetária em comparação com as variáveis Brent e VIX. O VECM revela a existência de relações de longo prazo entre as variáveis, destacando a forte influência do preço do petróleo sobre o comportamento da PETR4. As funções de impulso-resposta mostram que choques no Brent e VIX têm efeito positivo significativo sobre o preço das ações. Conclui-se que o desempenho da PETR4 no período analisado é explicado por uma combinação predominantemente de fatores externos, evidenciando a relevância do ambiente global para o mercado acionário da Petrobras.

Palavras Chave: Política Monetária, Preço das Ações, Petrobras (PETR4), Séries Temporais, Modelo VECM

ABSTRACT

This study investigates the relationship between Brazilian monetary policy and the stock price of Petrobras (PETR4) over the period from 2015 to 2025, considering the simultaneous impact of domestic and external macroeconomic variables. Using monthly data, the analysis applies a multivariate econometric approach based on stationarity tests (ADF, PP, and KPSS), structural break tests (Zivot-Andrews), Johansen cointegration tests, and a VECM model, complemented by Impulse Response Functions, Forecast Error Variance Decomposition, and Granger causality tests. The variables analyzed include the Selic rate, the nominal exchange rate, the external volatility index (VIX), and the international price of Brent crude oil. The results indicate that the stock price of Petrobras is less sensitive to changes in monetary policy compared to Brent and VIX. The VECM reveals the existence of long-term relationships among the variables, highlighting the strong influence of oil prices on the behavior of PETR4. The impulse response functions show that shocks to Brent and VIX have a significant positive effect on the stock price. The study concludes that PETR4's performance during the analyzed period is predominantly explained by external factors, underscoring the relevance of the global environment for Petrobras' stock market dynamics.

Key Words: Monetary Policy, Stock Prices, Petrobras (PETR4), Time Series, VECM Model

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo De Decisão Com Quebra Estrutural

LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1 – Série Temporal do Preço das Ações da Petr4
- Gráfico 2 – Série Temporal da Taxa Selic Meta, definida pelo COPOM
- Gráfico 3 – Série Temporal da Taxa de Câmbio U\$/R\$
- Gráfico 4 – Série Temporal do Índice de Volatilidade/Insegurança S&P 500 (VIX)
- Gráfico 5 – Série Temporal do Índice de Preço do Barril de Petróleo (Brent)
- Gráfico 6 – Quebra Estrutural SELIC
- Gráfico 7 – Quebra Estrutural S&P VIX
- Gráfico 8 – Função Impulso-Resposta da Variável Brent
- Gráfico 9 – Função Impulso-Resposta da Variável S&P 500 VIX
- Gráfico 10 – Teste de Estabilidade dos Parâmetros – CUSUM Test
- Gráfico 11 – Previsão das ações da Petrobras via Modelo VECM

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estatística Descritiva das Séries Temporais.

Tabela 2 – Matriz de Correlação.

Tabela 3 – Resultados dos Testes de Estacionariedade.

Tabela 4 – Teste de Zivot-Andrews

Tabela 5 – Quebras do teste de Zivot-Andrews

Tabela 6 – Resultados da Retirada da 1º Diferença

Tabela 7 – Resultado do Testes de Cointegração de Johansen

Tabela 8 – Resultado do Testes de Cointegração de Johansen para todas as variáveis

Tabela 9 – Resultados do modelo VECM

Tabela 10 – Tabela do Teste de Causalidade de Granger

Tabela 11 – Decomposição da Variância

Tabela 12 – Tabela dos Testes de Diagnóstico do Modelo VECM

Tabela 13 – Resultados do Teste de Cointegração “Bouns Test”

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1. Objetivo Geral.....	11
1.2. Objetivo Específico.....	11
2. EMBASAMENTO TEÓRICO	13
2.1 Influência da Política Monetária Sobre o Preço das Ações	13
3. METODOLOGIA	17
3.1. Modelo Var/Vecm	17
3.2. Testes Preliminares de Estacionariedade.....	18
3.3. Teste de Cointegração Via Teste de Johansen.....	20
3.4. Diagnóstico e Robustez do Modelo.	20
4. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	22
4.1 Séries Temporais Iniciais.....	22
4.2 Análise Descritiva das Séries Temporais.....	29
4.3 Matriz de Correlação	30
5. ANÁLISE DOS TESTES DE ESTACIONARIEDADE	33
5.1 Teste de Estacionariedade com Quebra Estrutural.....	35
5.2 Retirada de Primeira Diferença das Séries.....	39
5.3 Decisão Sobre o Caminho de Modelagem.....	40
6. TESTE DE COINTEGRAÇÃO DE JOHANSEN	42
6.1 Teste de Cointegração de Johansen Para Variáveis I(1).....	42
6.2 Teste de Cointegração de Johansen Para Todas as Variáveis.....	44
7. MODELO VECM	46
7.1. Teste de Causalidade de Granger	48
7.2 Função Impulso-Resposta	49
7.3 Decomposição da Variância	51
7.4 Teste de Estabilidade Estrutural dos Parâmetros	52
7.5 Testes de Diagnóstico do Modelo Vecm.....	53
7.6 Previsão Petr4 Via Modelo Vecm	54
8. MODELO ARDL	56
8.1 Implicações Econômicas e Teóricas	57
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59

1. INTRODUÇÃO

A importância de investigar as variáveis que influenciam a dinâmica dos preços das ações da Petrobrás decorre de sua posição de destaque como a principal petrolífera da América Latina, responsável por significativa geração de empregos e por desempenhar papel central no mercado acionário brasileiro. Diante dessa relevância econômica e financeira, torna-se essencial compreender quais fatores exercem impacto significativo sobre o valor de mercado da companhia e em que grau essas variáveis afetam o comportamento de suas ações.

Nesse contexto, destaca-se a relevância dos fatores macroeconômicos, em especial da política monetária, como elemento determinante na precificação dos ativos da companhia. Alterações nas condições monetárias afetam o custo de capital, o nível de atividade econômica e as expectativas dos investidores, refletindo-se diretamente no valor das ações. Assim, compreender a interação entre as variáveis macroeconômicas e o desempenho da Petrobras é fundamental para avaliar o comportamento do mercado acionário e os mecanismos de transmissão da política econômica sobre o setor corporativo.

A política monetária é um dos principais instrumentos utilizados pelo Banco Central para controlar a inflação, estimular ou conter o crescimento econômico e influenciar a liquidez do mercado financeiro. No Brasil, a taxa Selic, que representa o principal mecanismo dessa política, tem passado por sucessivos ciclos de alta e baixa ao longo das últimas décadas. Essas variações impactam diretamente o mercado financeiro, afetando a atratividade de investimentos em renda fixa e variável.

A relação entre a taxa de juros e o valor das ações tem sido amplamente investigada na literatura econômica (Shiller e Beltratti, 1992). Os estudos, em sua maioria, apontam para uma correlação inversa entre essas variáveis. Em termos teóricos, essa relação justifica-se pelo fato de que, à medida que as taxas de juros aumentam, os investimentos em renda fixa tornam-se mais atrativos em comparação aos ativos de renda variável, como as ações. Juros maiores também afetam a facilidade ao crédito, podendo reduzir o fluxo de caixa e lucratividade das empresas (Galí e Gambetti, 2015). Assim, elevações na taxa de juros tendem a reduzir a demanda por ações, pressionando seus preços para baixo e a aumentar a atratividade dos investimentos em renda fixa, encarecer o crédito e reduzir o valor presente dos fluxos de caixa futuros das empresas, pressionando, assim, a cotação de seus papéis.

A relevância do impacto da política monetária sobre o preço das ações da Petrobrás decorre da centralidade que a Petr4 ocupa no mercado de capitais brasileiro e, em sentido mais

amplo, na economia nacional. Trata-se de uma companhia com peso expressivo no índice Ibovespa (aproximadamente 6,308%), cuja performance influencia a dinâmica do mercado acionário.

Além disso, por sua natureza de empresa estatal e estratégica, os papéis da Petrobrás constituem referência fundamental tanto para investidores individuais quanto institucionais. Nesse contexto, torna-se pertinente examinar de que forma a política monetária, expressa pela taxa básica de juros, afeta a precificação de seus ativos, uma vez que estes incorporam, simultaneamente, elementos de natureza microeconômica e macroeconômica.

1.1. Objetivo Geral

O problema da desvalorização das ações de uma empresa representa um desafio significativo, tanto do ponto de vista financeiro quanto estratégico. A queda nos preços dos papéis pode elevar o custo de capital, dificultando a captação de recursos no mercado e limitando a capacidade de investimento da companhia. Além disso, reduz o valor de mercado da empresa, prejudicando sua posição competitiva e a atratividade para investidores institucionais e estratégicos.

No caso da Petrobras, que possui peso expressivo no índice Ibovespa, essa desvalorização pode gerar efeitos sistêmicos no mercado acionário brasileiro, afetando a confiança dos investidores e pressionando a gestão a adotar medidas corretivas. A queda das ações também sinaliza maior risco percebido, impacta programas de remuneração baseados em ações e aumenta a vulnerabilidade da empresa a pressões externas, tornando essencial compreender os fatores que influenciam o desempenho de seus ativos, como as variações na taxa Selic.

O presente estudo tem por objetivo analisar as relações entre as mudanças na política monetária e preço das ações da Petr4, estudar o comportamento dos preços das ações da maior estatal brasileira ao longo das últimas duas décadas e utilizar modelos de previsão para as variáveis. O tema é especialmente relevante diante dos recentes aumentos da taxa de juros promovidos pelo Banco Central, o que levanta questionamentos sobre seus impactos no mercado acionário.

1.2. Objetivo Específico

Os objetivos específicos consistem em 1) Mensurar o comportamento histórico dos fatores determinantes do preço das ações da PETR4; 2) Verificar a presença de cointegração entre a taxa Selic e os retornos das ações da Petrobras e, por fim, 3- Desenvolver um modelo

preditivo para estimar o preço futuro das ações da PETR4. A intenção é compreender em que medida alterações na política monetária e variações macroeconômicas afetam o comportamento dos investidores, desenvolver e aplicar modelos para a previsão do preço futuro e avaliar a performance dos modelos preditivos aplicados. Essa análise é fundamental para verificar a sensibilidade dos ativos da estatal às mudanças nas condições macroeconômicas impostas pela taxa de juros.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Influência da Política Monetária sobre o Preço das Ações

A literatura econômica tem enfatizado, de forma recorrente, o papel central da política monetária na determinação das condições financeiras e, conseqüentemente, nos preços dos ativos. Sob a perspectiva da tradição monetarista, Friedman e Schwartz (1963) demonstram que variações na oferta de moeda representam um dos principais motores das flutuações econômicas, exercendo influência direta sobre as taxas de juros e indireta sobre o investimento e os preços dos ativos. Entretanto, a relação entre política monetária e preços acionários transcende o arcabouço monetarista clássico e envolve um conjunto mais amplo de mecanismos teóricos desenvolvidos ao longo das últimas décadas.

No âmbito da macroeconomia tradicional, o modelo IS-LM oferece uma primeira aproximação dessa relação ao evidenciar como a redução da taxa de juros desloca o equilíbrio macroeconômico por meio da expansão dos investimentos e da renda (Mishkin, 2016). A queda dos juros reduz o custo de oportunidade do capital e, ao elevar o investimento produtivo, modifica a trajetória esperada dos fluxos de caixa das firmas — variável fundamental nos modelos de valorização baseados no fluxo de caixa descontado (DCF). Essa lógica é formalizada no modelo do q de Tobin (1969), segundo o qual uma política monetária expansionista tende a elevar o valor de mercado das empresas em relação ao custo de reposição do capital, incentivando novos investimentos e valorizando os preços das ações.

Na perspectiva dos modelos macrofinanceiros, a taxa de juros exerce dupla função: (i) como parâmetro de desconto nos modelos de apreçamento de ativos e (ii) como fator que determina o prêmio ao risco exigido pelos investidores. Campbell e Cochrane (1999) destacam esse segundo canal ao argumentar que choques monetários contracionistas aumentam a aversão ao risco e ampliam o prêmio exigido, produzindo reprecificação imediata nos ativos mais voláteis, em especial em economias emergentes.

A teoria novo-keynesiana também fortalece esse arcabouço ao integrar a política monetária na estrutura de intertemporalidade da economia. O modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral (DSGE), representado por Clarida, Galí e Gertler (1999), demonstra que a taxa de juros afeta não apenas o nível contemporâneo da atividade, mas também a formação de expectativas, conduzindo a ajustes na estrutura a termo das taxas de juros — elemento chave na precificação dos ativos financeiros. Nesse contexto, a política monetária atua tanto por meio

dos efeitos de taxa de desconto quanto por seu impacto sobre expectativas de lucros futuros, volatilidade e incerteza macroeconômica.

Complementarmente, a literatura sobre ciclos econômicos — desde Schumpeter (1939) até a formulação moderna dos ciclos reais de negócios de Kydland e Prescott (1982) — sugere que oscilações econômicas, em parte determinadas pela política monetária, afetam a produtividade, a renda e a lucratividade das empresas, influenciando o comportamento dos investidores e o preço de suas ações. Períodos de expansão monetária costumam ser acompanhados de maior liquidez, maior alavancagem e aumento da demanda por ativos de risco, enquanto períodos restritivos intensificam as exigências de retorno e diminuem a propensão ao risco.

Dentro do arcabouço dos canais de transmissão da política monetária, Bernanke e Blinder (1988), Bernanke e Gertler (1995) e Mishkin (1996) identificam um conjunto abrangente de mecanismos pelos quais a política monetária afeta a economia e os preços dos ativos. Entre eles, destacam-se:

- i. canal da taxa de juros, afetando o custo do capital e o retorno exigido;
- ii. canal do crédito, influenciando a disponibilidade de financiamento e as condições de alavancagem;
- iii. canal das expectativas, ajustando a percepção dos agentes sobre o estado futuro da economia;
- iv. canal dos preços dos ativos, no qual mudanças de política afetam diretamente o valor das empresas;
- v. canal do câmbio, crucial em economias abertas e sensíveis ao ciclo externo, como é o caso do Brasil.

Shiller e Beltratti (1992) reforçam empiricamente o papel do canal da taxa de desconto ao demonstrar que aumentos na taxa de juros reduzem o valor presente dos fluxos de caixa futuros, provocando ajustes imediatos no preço das ações. Esse efeito é potencializado em mercados emergentes, onde, segundo Bekaert e Harvey (1997), a vulnerabilidade a choques externos, a presença de prêmios de risco mais elevados e a dependência de capitais internacionais amplificam a sensibilidade dos preços acionários às alterações monetárias.

No contexto brasileiro, a literatura empírica confirma esse padrão. Rossi (2013) evidencia a forte ligação entre ciclos monetários e desempenho do mercado de ações, destacando o papel central da taxa Selic na estrutura de retorno dos ativos de risco. Estudos

como os de Silva e Almeida (2018), demonstram que variações na taxa básica de juros, no câmbio e nos preços das commodities exercem influência significativa sobre o comportamento das ações brasileiras, em especial em setores altamente sensíveis a variáveis externas, como petróleo e energia.

A incorporação de outros determinantes macroeconômicos além da taxa Selic é essencial para uma compreensão abrangente dos fatores que afetam o preço das ações da Petrobras. A literatura é consistente ao apontar três variáveis particularmente relevantes: a taxa de câmbio, o risco externo e o preço internacional do petróleo.

- I. **Taxa de Câmbio:** A literatura clássica de Dornbusch e Fischer (1980), complementada pelo modelo do "overshooting cambial", indica que desvalorizações cambiais podem aumentar a competitividade externa das firmas exportadoras, mas, em economias dependentes de insumos importados, podem elevar os custos de produção — um dilema que afeta diretamente empresas como a Petrobras. Ma e Kao (1990) apontam que esse efeito é assimétrico, podendo beneficiar ou prejudicar empresas dependendo de sua estrutura de custos e receitas. No Brasil, Medeiros e Doornik (2006), Miranda e Muinhos (2003) e Issler et al. (2015) corroboram a importância do câmbio como determinante relevante dos ativos financeiros.
- II. **Risco Externo e VIX:** A literatura contemporânea enfatiza o papel crescente das condições financeiras globais na determinação dos preços de ativos em economias emergentes. Rey (2015) formula o conceito de *Global Financial Cycle*, segundo o qual ciclos globais de liquidez — capturados por indicadores como o VIX — influenciam a direção dos fluxos de capitais internacionais, afetando diretamente o desempenho dos mercados acionários. Estudos como os de Bloom (2009) demonstram que choques de incerteza amplificam a volatilidade e reduzem o investimento, afetando empresas com alto grau de exposição ao mercado externo.
- III. **Preço Internacional do Petróleo:** Considerando a natureza integrada da Petrobras na cadeia produtiva do petróleo, o preço do Brent constitui variável essencial na formação de seus lucros, investimentos e valor de mercado. Hamilton (2008) e Kilian (2009) demonstram que choques nos preços do petróleo têm efeitos macroeconômicos substantivos, alterando expectativas, custos de produção e retornos das empresas petrolíferas. Gormus, Klein e

Sercu (2015) reforçam que ações de empresas de commodities apresentam relação direta e de alta elasticidade com os movimentos do petróleo, justificando plenamente a inclusão dessa variável.

Em conjunto, essas variáveis — Selic, câmbio, risco externo e petróleo — configuram-se como determinantes amplamente reconhecidos na literatura para o apreçamento de ativos em economias emergentes, especialmente em um país com forte dependência de commodities e sensibilidade a condições externas como o Brasil (Soares et al., 2021).

A abordagem multivariada adotada neste estudo permite capturar simultaneamente as interações entre esses fatores, oferecendo um instrumento analítico robusto para compreender a dinâmica do preço das ações da Petrobras no período de 2015 a 2025. Esse intervalo é particularmente relevante por abranger períodos de crise política, volatilidade macroeconômica, pandemia, choques no mercado internacional de petróleo e ciclos monetários de significativa intensidade, o que confere profundidade e rigor ao presente trabalho.

3. METODOLOGIA

A base de dados contempla informações mensais referentes ao período de janeiro de 2015 a agosto de 2025. As variáveis de interesse incluem:

- i. Preço das ações da Petrobras (PETR4): coletado na B3 (Brasil, Bolsa, Balcão), representando o valor de abertura mensal ajustado por proventos.
- ii. Taxa Selic: obtida na modalidade SELIC META no Banco Central do Brasil (via IPEADATA).
- iii. Taxa de Câmbio nominal mensal entre real e dólar.
- iv. Índice VIX, que mede a expectativa de incerteza inerente às ações negociadas na Standard & Poor's 500 - S&P 500
- v. Índice de Preços do Barril de Petróleo (Brent)

Os dados foram tratados no software R, com auxílio de pacotes específicos para econometria de séries temporais.

3.1. Modelo VAR/VECM

O modelo VAR (Vector Autoregression), proposto inicialmente por Sims (1980), constitui uma das abordagens mais influentes na análise de relações dinâmicas entre variáveis macroeconômicas e financeiras. Diferentemente dos modelos univariados tradicionais, o VAR trata todas as variáveis como potencialmente endógenas, permitindo que cada série seja explicada por seus próprios valores defasados e pelos valores defasados das demais variáveis do sistema.

Essa estrutura multivariada capta interdependências e efeitos de retroalimentação, tornando o modelo adequado para estudos que investigam a interação entre preços de ativos, política monetária e indicadores de mercado. A forma geral de um VAR de ordem p pode ser representada por $Y_t = A_1Y_{t-1} + A_2Y_{t-2} + \dots + A_pY_{t-p} + \varepsilon_t$, em que Y_t é o vetor de variáveis endógenas, A_i são matrizes de coeficientes e ε_t representa o vetor de choques estruturais. No entanto, quando as séries são integradas e apresentam cointegração, a estimação de um VAR em níveis torna-se inadequada, sendo necessária a utilização do Modelo de Correção de Erros Vetorial (Vector Error Correction Model – VECM).

O VECM deriva diretamente do VAR, mas incorpora explicitamente os vetores de cointegração identificados por meio de testes como o de Johansen (1988), permitindo capturar simultaneamente a dinâmica de curto prazo e o equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Nesse modelo, a presença de relações de cointegração implica que as séries compartilham um

caminho comum de tendência estocástica, e o VECM ajusta as discrepâncias temporárias em direção ao equilíbrio de longo prazo.

A forma básica de um modelo VECM pode ser expressa como $\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \varepsilon_t$, onde Π contém as informações sobre os vetores de cointegração (matriz de longo prazo) e Γ_i representam os parâmetros de ajuste de curto prazo. A decomposição $\Pi = \alpha\beta'$ permite interpretar β como os vetores de cointegração e α como os coeficientes de velocidade de ajuste. Assim, enquanto o VAR descreve apenas dinâmicas autorregressivas, o VECM explicita o mecanismo de correção de erros que reconduz o sistema ao equilíbrio, sendo, portanto, mais adequado quando há evidência de relações de longo prazo entre variáveis econômicas.

A escolha pelo VAR/VECM como metodologia de previsão e análise econométrica justifica-se pela sua capacidade de lidar com múltiplas fontes de endogeneidade e capturar efeitos simultâneos entre variáveis relacionadas. Especificamente no contexto brasileiro, pesquisas como Fiori e Lopes (2014) aplicam VECM para analisar a interação entre variáveis macroeconômicas internas e externas, reforçando a adequação desse modelo para examinar relações dinâmica e estruturalmente complexas. Além disso, o artigo de Johansen (1991) destaca que o VECM apresenta propriedades estatísticas superiores quando as séries são não estacionárias e cointegradas, permitindo estimativas consistentes mesmo em sistemas com múltiplas equações e defasagens.

Dessa forma, a metodologia VAR/VECM alinha-se diretamente aos objetivos desta pesquisa ao possibilitar a identificação dos efeitos de curto e longo prazos entre variáveis financeiras e macroeconômicas, oferecendo base matemática capaz de capturar tanto a dinâmica conjuntural quanto a trajetória estrutural das séries. A abordagem adotada garante compatibilidade entre fundamentação teórica e aplicação empírica, contribuindo para uma análise robusta dos efeitos da política monetária sobre os preços das ações da Petrobras e fornecendo subsídios relevantes para investidores, gestores públicos e pesquisadores da área.

1.2. Testes Preliminares de Estacionariedade

Antes da estimação dos modelos econométricos, torna-se essencial verificar a estacionariedade das séries temporais utilizadas, uma vez que a presença de raízes unitárias pode comprometer a validade dos resultados. Séries não estacionárias tendem a apresentar média e variância não constantes ao longo do tempo, o que pode gerar regressões espúrias, isto

é, relações estatisticamente significativas, mas sem fundamento econômico real (GUJARATI; PORTER, 2011). Assim, a identificação da ordem de integração das variáveis constitui uma etapa fundamental na modelagem de séries temporais, assegurando a consistência estatística das estimativas e a validade das inferências.

O teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), proposto por Dickey e Fuller (1979), representa uma das abordagens mais tradicionais para a detecção de raízes unitárias. O procedimento consiste em estimar uma equação autorregressiva que inclui defasagens da variável dependente, com o objetivo de eliminar possíveis autocorrelações nos resíduos, e testar se o coeficiente do termo em nível é estatisticamente diferente de zero. A hipótese nula do teste é a de não estacionariedade (presença de raiz unitária), enquanto a hipótese alternativa indica estacionariedade. A decisão baseia-se na comparação do valor calculado da estatística t com valores críticos tabelados, conforme o nível de significância adotado.

De forma complementar, o teste de Phillips-Perron (PP), desenvolvido por Phillips e Perron (1988), busca aprimorar o ADF ao corrigir possíveis problemas de heterocedasticidade e autocorrelação nos resíduos, sem a necessidade de incluir termos defasados adicionais na regressão. O teste utiliza estimadores não paramétricos da variância de longo prazo, permitindo maior robustez em amostras nas quais as séries apresentam forte dependência temporal. Assim como no ADF, a hipótese nula do teste PP é a presença de raiz unitária, e sua rejeição indica que a série é estacionária.

Por outro lado, o teste KPSS, proposto por Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin (1992), apresenta uma formulação inversa em relação aos testes ADF e PP. Nesse caso, a hipótese nula é de estacionariedade da série, enquanto a hipótese alternativa sugere a presença de raiz unitária. O teste baseia-se na decomposição da série em uma tendência determinística, um componente aleatório e um termo de erro, avaliando se a variância do componente estocástico é nula (indicando estacionariedade) ou diferente de zero (indicando não estacionariedade). Dessa forma, o KPSS é frequentemente utilizado em conjunto com os testes ADF e PP, pois suas hipóteses opostas permitem uma análise mais abrangente e conclusiva sobre o comportamento estocástico das séries.

Em síntese, a aplicação conjunta dos testes ADF, Phillips-Perron e KPSS oferece uma estrutura metodológica consistente para a verificação da estacionariedade. Enquanto os dois primeiros testam a hipótese nula de não estacionariedade, o último parte da hipótese oposta, permitindo uma análise complementar e robusta. Essa estratégia reduz o risco de conclusões

equivocadas sobre a ordem de integração das variáveis, garantindo a adequação das séries temporais aos procedimentos econométricos subsequentes e fortalecendo a confiabilidade dos resultados obtidos.

1.3. Teste de Cointegração via Teste de Johansen.

Para a identificação de relações de cointegração entre as variáveis macroeconômicas e financeiras, foi empregado o Teste de Johansen, proposto por Johansen (1988) e Johansen e Juselius (1990). Esse procedimento baseia-se na estimação de um modelo Vetorial Autorregressivo (VAR) e tem como objetivo verificar a existência de um ou mais vetores de cointegração entre as séries temporais. O método de Johansen permite analisar sistemas com múltiplas variáveis endógenas, oferecendo uma estrutura mais abrangente para investigar a presença de relações de equilíbrio de longo prazo entre elas.

A principal vantagem do Teste de Johansen é sua capacidade de identificar múltiplos relacionamentos de equilíbrio simultaneamente, capturando a complexidade das interações econômicas em sistemas multivariados. No contexto deste estudo, essa característica é particularmente relevante, uma vez que a dinâmica entre a taxa Selic, o câmbio e o preço das ações da Petrobras envolvem diversos canais de transmissão — como custo de capital, expectativas de mercado e fluxo de investimentos estrangeiros. Assim, o Teste de Johansen fornece evidências empíricas robustas sobre a existência de um vínculo estrutural de longo prazo entre as variáveis analisadas, reforçando a consistência do modelo econométrico e permitindo inferências mais precisas sobre os efeitos da política monetária no mercado acionário brasileiro.

1.4. Diagnóstico e robustez do modelo.

Após a estimação do modelo VECM, torna-se necessário verificar se os pressupostos estatísticos clássicos foram atendidos, assegurando a robustez e a confiabilidade dos resultados. Para isso, foram aplicados testes de diagnóstico sobre os resíduos do modelo, de modo a examinar aspectos como normalidade, homocedasticidade, autocorrelação serial e estabilidade estrutural. A verificação desses pressupostos é fundamental, pois o adequado comportamento dos resíduos garante a validade estatística das estimativas (GUJARATI; PORTER, 2011).

O primeiro teste realizado foi o Jarque-Bera, destinado a avaliar a normalidade dos resíduos. Esse teste utiliza os momentos de assimetria e curtose da distribuição, comparando-os aos valores esperados em uma distribuição normal (JARQUE; BERA, 1987). A normalidade dos resíduos é relevante porque diversos procedimentos de inferência, como testes de

significância e intervalos de confiança, assumem distribuições aproximadamente normais, especialmente em amostras menores.

Em seguida, utilizou-se o teste de Breusch-Pagan-Godfrey para avaliar a presença de heterocedasticidade. A hipótese nula implica variância constante dos resíduos, enquanto a alternativa sugere variância não constante (BREUSCH; PAGAN, 1979). A detecção de heterocedasticidade pode comprometer a precisão dos erros-padrão e, conseqüentemente, a significância estatística dos coeficientes, exigindo eventualmente o uso de correções, como erros-padrão robustos.

A autocorrelação serial dos resíduos foi examinada por meio do teste Breusch-Godfrey LM, que verifica se os erros estão correlacionados ao longo do tempo. A presença de autocorrelação viola o pressuposto de independência dos resíduos e reduz a eficiência das estimativas, problema comum em séries temporais financeiras (WOOLDRIDGE, 2016). Por fim, avaliou-se a estabilidade dos parâmetros ao longo do período analisado utilizando os testes CUSUM e CUSUMQ, que indicam possíveis quebras estruturais no modelo. A estabilidade dos coeficientes é essencial em modelos de séries temporais, já que mudanças de regime, choques externos e alterações na política monetária podem modificar as relações entre as variáveis ao longo do tempo (BROWN; DURBIN; EVANS, 1975).

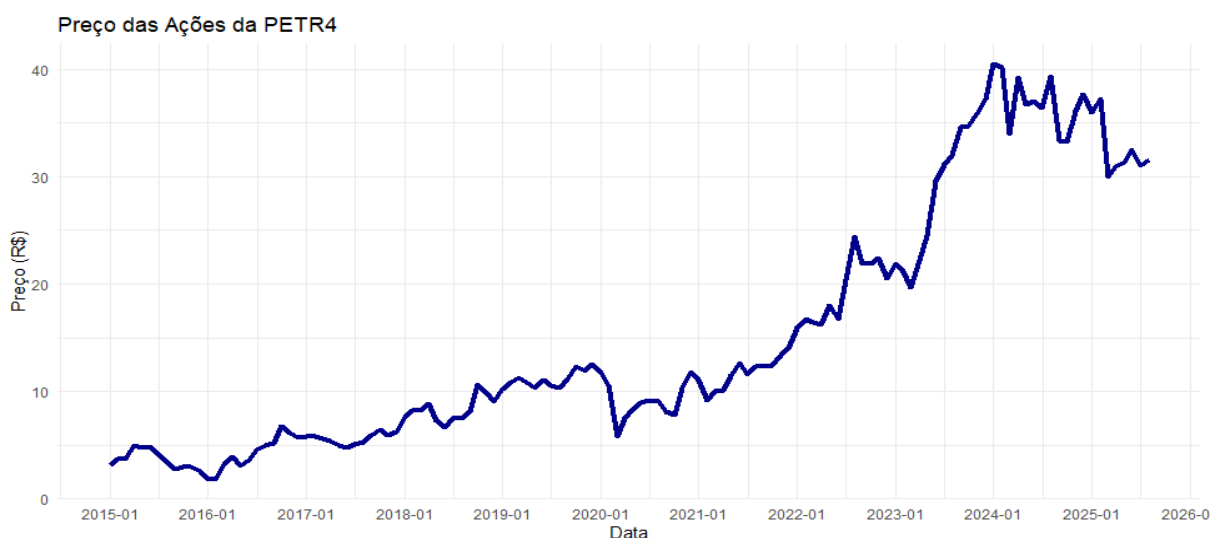
Em síntese, a aplicação conjunta desses testes assegura que o modelo VECM apresenta resíduos bem comportados, condição indispensável para a validade empírica dos resultados. Confirmados os pressupostos de normalidade, homocedasticidade, ausência de autocorrelação e estabilidade estrutural, as estimativas obtidas podem ser interpretadas com maior rigor científico na análise da relação entre a política monetária e o preço das ações da Petrobras.

4. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

4.1 Séries Temporais Iniciais

A série temporal dos preços da Petr4 no Gráfico 1 revelam alta volatilidade e forte tendência, além de forte valorização no período analisado. Inicialmente, entre 2015 e o início de 2017, a série exibe uma volatilidade estocástica dentro de uma banda de preços relativamente estreita, com uma notável formação de vale no início de 2016, que sinaliza o impacto de crises setoriais ou eventos de governança corporativa. A partir de meados de 2017 e estendendo-se até o começo de 2020, estabelece-se uma tendência de alta moderada. O comportamento desta trajetória é abruptamente interrompido no início de 2020 por um choque exógeno de magnitude sistêmica, coincidente com a eclosão da pandemia de COVID-19.

Gráfico 1 – Série Temporal do Preço das Ações da Petr4



Elaborado pelo autor, 2025 – Fonte: B3

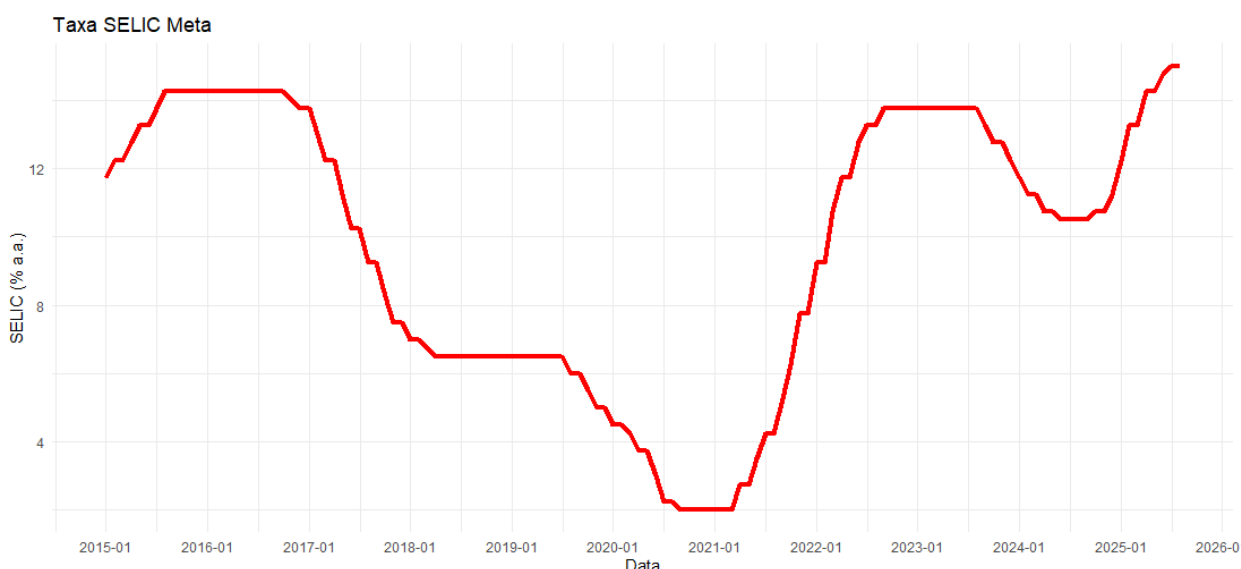
A pandemia desencadeou uma queda acentuada nos preços, regressando a série a patamares de mínima histórica recente. Contudo, o subsequente padrão de recuperação em "V" rapidamente reverteu essa desvalorização, impulsionado pela estabilização e recuperação dos mercados globais de commodities e energia. Apesar da queda entre o segundo semestre de 2022 e o 1º semestre de 2023 motivado pela mudança de governo e mudança da política de preços do combustível; a fase mais significativa de alta sustentada, manifestou-se entre 2021 e o início de 2024.

Essa escalada é fundamentalmente atribuída à forte elevação dos preços internacionais do petróleo, impulsionada pelo reaquecimento da demanda pós-pandemia, somada a uma política agressiva de distribuição de dividendos que atraiu capital para o ativo. Por fim, a partir de 2024, a série entra em uma fase de consolidação em nível superior,

distinguida por um aumento na volatilidade. As flutuações dentro desta faixa elevada (R\$ 30,00 a R\$ 40,00) sugerem uma maior sensibilidade a incertezas regulatórias ou riscos políticos (intervenções governamentais nas políticas de preços) e ao movimento de realização de lucros por parte dos investidores após o ciclo de alta, confirmando que a PETR4 permanece um ativo com alta correlação a variáveis macroeconômicas e à instabilidade do ambiente político-institucional brasileiro.

O Gráfico 2 mostra a série temporal da taxa de juros na modalidade Selic Meta. O juro é o mais representativo mecanismo de transmissão da política monetária, apesar de existirem outros como câmbio, preço de ativos, oferta de crédito e expectativas sobre a atividade econômica e os preços (Mendonça, 2001). A análise da série temporal da Taxa SELIC Meta é fundamental e revela uma baixa volatilidade e uma resposta da política monetária brasileira a ciclos macroeconômicos e choques externos ao longo de 2015 a 2025. O período se inicia com um ciclo de política monetária contracionista, onde a taxa é mantida em patamares elevados, próximos a 14% em 2016. Essa postura rigorosa foi fruto do combate à alta inflação de 10,67% em 2015 e à ancoragem das expectativas em um contexto de crise econômica.

Gráfico 2 – Série Temporal da Taxa Selic Meta, definida pelo COPOM



Elaborado pelo autor, 2025 – Fonte: Banco Central do Brasil

A partir de 2017, inicia-se um extenso ciclo de flexibilização monetária, caracterizado por uma descida gradual e prolongada da taxa. Essa redução, suportada pela convergência da inflação para o centro da meta intensifica-se drasticamente em 2020. A taxa atinge um mínimo histórico (próximo a 2% em 2021) como resposta coordenada ao choque

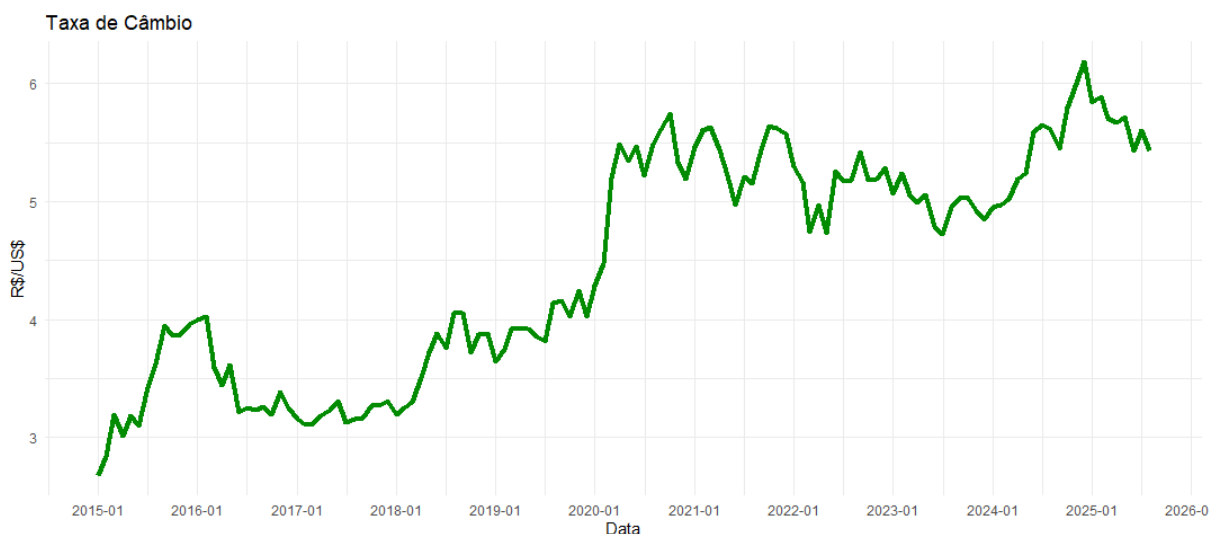
sistêmico da pandemia de COVID-19, buscando oferecer o máximo estímulo possível ao crédito e à atividade econômica em meio à recessão global.

A partir de 2021 verifica-se uma mudança na trajetória da taxa de juros. O surto inflacionário global, impulsionado por choques de oferta decorrentes da desorganização das cadeias produtivas, do aumento dos preços de energia e alimentos e dos efeitos da guerra na Ucrânia, levou o Banco Central a adotar uma política monetária mais restritiva. Paralelamente, fatores domésticos, como o aumento de gastos públicos e a depreciação cambial, contribuíram para o temor de processos inflacionários. Em resposta, a autoridade monetária iniciou um ciclo de elevação acelerada da Selic, que passou de 2% para 13,75% ao ano entre 2021 e 2023, com o objetivo de reancorar as expectativas de inflação e preservar a credibilidade da política monetária.

Nos anos subsequentes, observa-se uma relativa estabilização da taxa em níveis elevados, ainda que com oscilações pontuais decorrentes das incertezas fiscais e do cenário internacional. A série histórica, portanto, evidencia o caráter cíclico da política monetária brasileira, marcada por períodos alternados de aperto e afrouxamento em resposta às variações do ambiente econômico interno e externo, confirmando o papel central da taxa Selic como instrumento de controle inflacionário e de sinalização das condições monetárias no país.

A trajetória da taxa de câmbio R\$/US\$ entre 2015 e 2025 demonstrada no Gráfico 3 revela uma tendência predominante de desvalorização do real, acompanhada por elevada volatilidade em momentos de instabilidade política e econômica. No biênio 2015–2016, o câmbio subiu rapidamente, impulsionado pela crise fiscal e política que culminou no impeachment de Dilma Rousseff e pela perda de confiança dos investidores. Entre 2017 e 2018, observou-se breve período de estabilidade, favorecido por medidas de consolidação fiscal e pela expectativa de reformas, interrompido pela incerteza eleitoral e pela guerra comercial entre Estados Unidos e China.

Gráfico 3 – Série Temporal da Taxa de Câmbio U\$/R\$



Elaborado pelo autor, 2025 – Fonte: Intercontinental Exchange (ICE)

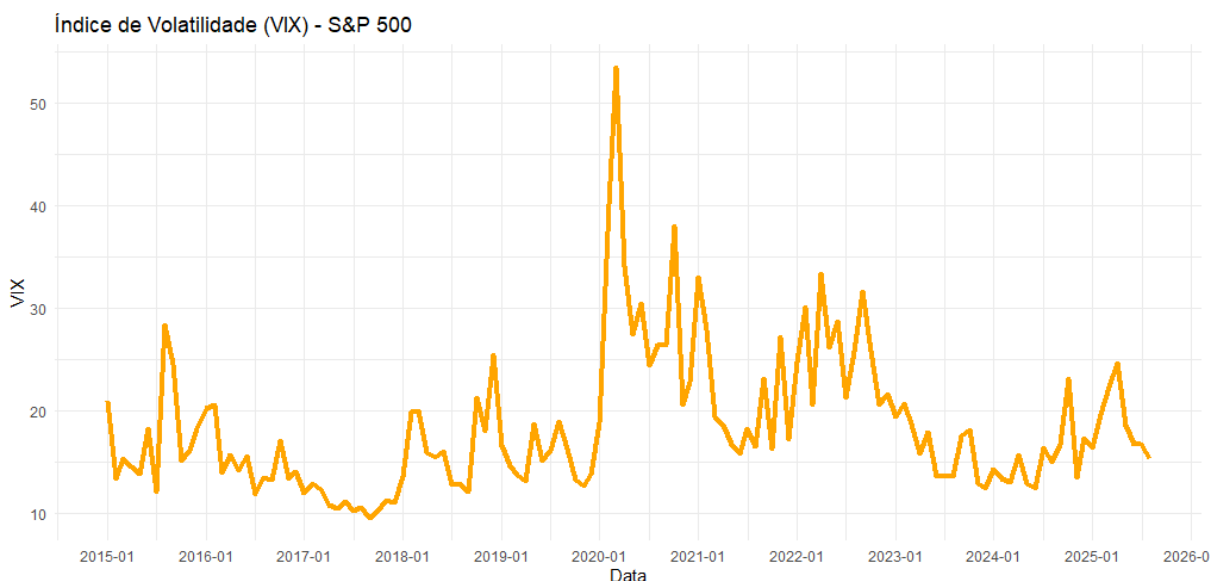
Durante o governo Bolsonaro (2019–2022), o real voltou a se depreciar, influenciado sobretudo, pelos efeitos da pandemia de COVID-19 em 2020, quando o câmbio ultrapassou R\$ 5,50 por dólar. Nos anos seguintes, a moeda manteve forte oscilação, refletindo a combinação de fatores internos — como disputas institucionais e políticas fiscais expansionistas — e externos, como o aumento das taxas de juros nos Estados Unidos e a redução do diferencial de juros em relação ao Brasil.

A partir de 2023, a taxa de câmbio permaneceu próxima a R\$ 5,00, oscilando conforme a percepção de risco fiscal e as expectativas em torno da política econômica do novo governo. Em síntese, a série demonstra que a dinâmica cambial brasileira ao longo da década foi fortemente condicionada por eventos políticos domésticos e choques internacionais, revelando a vulnerabilidade do real a mudanças no ambiente macroeconômico e na confiança dos agentes de mercado.

O Índice de Volatilidade VIX demonstrado na série histórica no Gráfico 4 reflete a percepção de risco global: quando ele se eleva, os investidores tendem a reduzir posições em ativos de maior risco, como ações de países emergentes e de setores cíclicos. Assim, aumentos no VIX tenderiam a provocar fuga de capitais do mercado brasileiro, desvalorização cambial e queda no preço das ações da Petrobras, mesmo quando seus fundamentos operacionais permanecem estáveis.

Estudos sugerem que elevações no risco associado a um país e/ou na incerteza dos investidores estrangeiros reduziriam o fluxo de capitais direcionados ao referido país, com reflexos negativos sobre as ações locais (Franzen *et al.*, 2009). Assim, a incerteza externa, representada pelo Índice de Volatilidade (VIX) do S&P 500, exerceria influência significativa sobre o preço das ações da Petrobras (PETR4) e de outras empresas brasileiras.

Gráfico 4 – Série Temporal do Índice de Volatilidade/Insegurança S&P 500 (VIX)



Elaborado pelo autor, 2025 – Fonte: Chicago Board Options Exchange (CBOE)

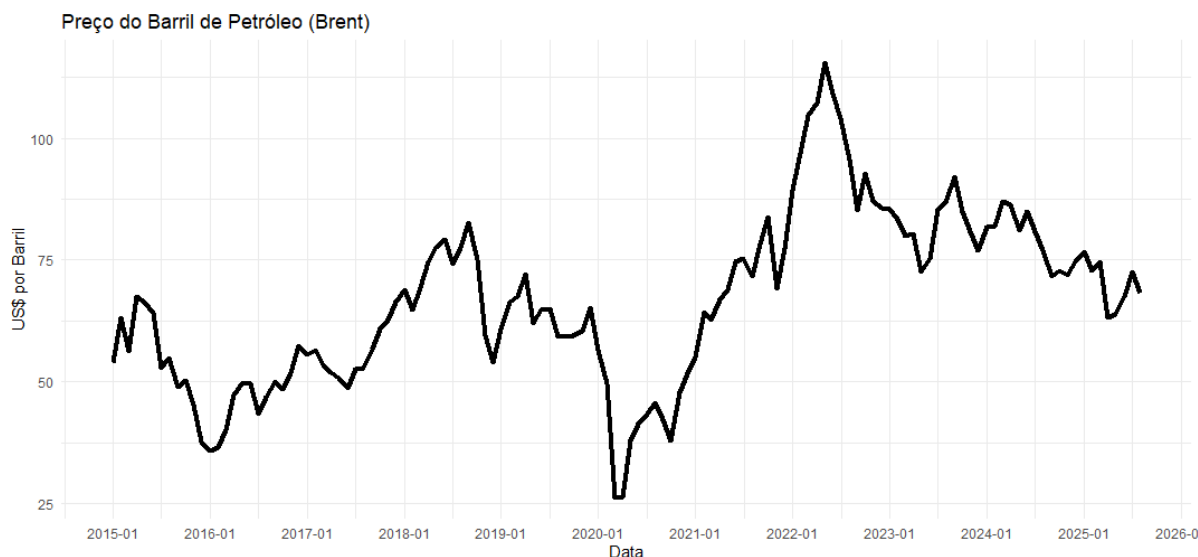
A série histórica do VIX entre 2015 e 2025 mostra períodos de forte oscilação, com picos bem definidos em momentos de crise. O primeiro destaque ocorre em 2015–2016, durante a desaceleração da economia chinesa que aumentou a aversão global ao risco. Em 2018, o índice voltou a subir com a guerra comercial entre Estados Unidos e China e o aperto monetário do Federal Reserve. O pico mais expressivo, acima de 50 pontos, verificou-se em março de 2020, no auge da pandemia de COVID-19, quando houve colapso nas bolsas mundiais e nos preços do petróleo, impactando fortemente a PETR4.

Nos anos seguintes, o VIX manteve níveis elevados até 2022, influenciado pela recuperação econômica desigual, pela inflação global e pela invasão da Ucrânia pela Rússia, que reacendeu a incerteza nos mercados de energia. A partir de 2023, observa-se tendência de normalização, com o índice oscilando entre 15 e 25 pontos, refletindo a estabilização das expectativas de juros nos Estados Unidos e menor volatilidade nos mercados. Em síntese, o comportamento do VIX ao longo da década confirma seu papel como indicador-chave de incerteza global, cuja elevação tende a reduzir o valor de mercado da Petrobras por meio da

retração dos fluxos de capitais, da queda nas commodities e do aumento da percepção de risco nos países emergentes.

É possível identificar pelo menos três possíveis mecanismos de transmissão do preço do petróleo bruto sobre preço das ações da Petr4: (1) o efeito-receita, pelo qual preços mais elevados do petróleo elevam o faturamento da companhia, dado o seu volume expressivo de produção e exportação; (2) o efeito sobre as expectativas de fluxo de caixa futuro, que impacta o valuation da empresa e, por conseguinte, sua atratividade para investidores; e (3) o efeito sobre a política de dividendos, uma vez que melhores resultados tendem a elevar a distribuição de proventos aos acionistas (Gudmundsson e Sanvicente, 2021). Assim, temos no Gráfico 5 a Série Temporal do preço do petróleo (Brent)

Gráfico 5 – Série Temporal do Índice de Preço do Barril de Petróleo (Brent)



Elaborado pelo autor, 2025 – Fonte: US Energy Information Administration (EIA)

Analisando a série histórica do preço do petróleo Brent, observam-se flutuações marcadas por eventos geopolíticos, econômicos e sanitários. Entre 2015 e 2016, os preços entraram em trajetória de queda acentuada, influenciados pela decisão da OPEP de manter os níveis de produção, resultando em um cenário de oversupply global. A partir de 2017, inicia-se uma recuperação moderada, com a efetivação do acordo OPEP+ para cortes de produção, alinhada à retomada do crescimento da demanda global.

Em 2020, a pandemia de COVID-19 provocou um colapso sem precedentes nos preços, com o Brent atingindo patamares historicamente baixos, refletindo a contração abrupta da demanda e a saturação da capacidade de armazenamento. A PETR4, por consequência, experimentou forte desvalorização, agravada pela incerteza macroeconômica e pelos riscos

associados à dívida corporativa. A partir do segundo semestre de 2020, contudo, com a retomada econômica global e os sucessivos cortes de produção, os preços iniciaram uma trajetória de recuperação, que se intensificou em 2021–2022.

O ano de 2022 foi marcado pela invasão da Ucrânia pela Rússia, que introduziu choques significativos no mercado energético, elevando o patamar do Brent acima de US\$ 100 em diversos momentos. Esse movimento beneficiou as receitas da Petrobras, ainda que tensionasse seus custos operacionais e expusesse a empresa a pressões regulatórias domésticas sobre preços de combustíveis. A partir de 2023, os preços passaram a exibir maior volatilidade, influenciados pelas expectativas de desaceleração econômica global, pelos níveis estratégicos de estoques e pela transição energética em curso.

Em síntese, a cotação da PETR4 demonstra sensibilidade aguda às variações do petróleo Brent, sendo esta relação modulada por fatores idiossincráticos da empresa — como sua estrutura de custos, política de preços de derivados e governança corporativa —, bem como pelo ambiente macroeconômico e institucional brasileiro. A série histórica evidencia que choques de oferta e demanda no mercado de petróleo reverberam de forma quase imediata na valuation da empresa, reforçando seu status de ativo cíclico e exposto a riscos commodities.

4.2 Análise Descritiva das Séries Temporais

A análise descritiva da tabela 1 permite verificar a variabilidade, tendência central e dispersão das séries, fornecendo insights sobre sua estabilidade e riscos. Ademais, a existência de assimetrias e a alta volatilidade em algumas séries justificam a necessidade de transformações (como logaritmos ou diferenciações) para atender aos pressupostos de estacionariedade em modelagens econométricas subsequentes.

A compreensão dessas características é crucial para a seleção adequada de técnicas de modelagem, como os modelos VAR/VECM, que requerem a verificação da ordem de integração das variáveis. Em suma, a análise descritiva não apenas resume os dados, mas também orienta as escolhas metodológicas, assegurando a robustez dos modelos econométricos e a validade das inferências realizadas.

Tabela 1 - Estatística Descritiva das Séries Temporais.

Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
PETR4	15,053	10,615	1,87	40,45	11,489
BRENT	66,676	66,375	26,35	115,6	17,371
SELIC	9,727	10,750	2	15	4,121
CAMBIO	4,469	4,735	2,68	6,18	0,955
S&P VIX	18,48	16,525	9,51	53,54	6,879

Elaborado pelo autor, 2025

O preço das ações da Petrobras apresenta uma média de R\$ 15,053, contudo, a mediana de R\$ 10,615 evidencia uma assimetria à direita, indicando que a distribuição é positivamente assimétrica, com a média puxada para cima por valores extremamente altos. O desvio padrão de R\$ 11,489 reflete uma alta volatilidade, característica inerente a ativos de risco. A amplitude de R\$ 38,58, com mínimo de R\$ 1,87 e máximo de R\$ 40,45, ressalta a significativa variação no preço da ação no período, possivelmente influenciada por ciclos econômicos, crises setoriais e flutuações no preço do petróleo.

Brent: O preço do petróleo Brent exhibe uma média de US\$ 66,676 por barril, com mediana de US\$ 66,375, sugerindo uma distribuição aproximadamente simétrica. O desvio padrão de US\$ 17,371 e uma amplitude de US\$ 89,25 (mínimo de US\$ 26,35 e máximo de US\$ 115,60) denotam uma commodity sujeita a fortes oscilações, impactada por fatores geopolíticos, alterações na oferta e demanda globais e, mais recentemente, pela pandemia de

COVID-19. SELIC: A taxa básica de juros brasileira apresenta média de 9,727% ao ano, com mediana de 10,750%, indicando ligeira assimetria à esquerda. O desvio padrão de 4,121% e a amplitude de 13,00% (variando de 2,00% a 15,00%) refletem diferentes fases da política monetária, com períodos de elevada taxa de juros para conter a inflação e momentos de taxas historicamente baixas para estimular a economia.

Câmbio: A taxa de câmbio apresenta média de R\$ 4,469 por US\$, com mediana de R\$ 4,735, indicando assimetria à esquerda. O desvio padrão de R\$ 0,955 e a amplitude de R\$ 3,50 (mínimo de R\$ 2,68 e máximo de R\$ 6,18) mostram a volatilidade da moeda brasileira, influenciada por fatores internos e externos, como crises políticas, fluxo de capitais e termos de troca. S&P 500 VIX: O índice de volatilidade, conhecido como "medo do mercado", tem média de 18,480, com mediana de 16,525, indicando assimetria à direita. O desvio padrão de 6,879 e a amplitude de 44,03 (mínimo de 9,51 e máximo de 53,54) evidenciam a natureza de picos abruptos desse índice, que se eleva em momentos de crise e incerteza nos mercados financeiros globais.

4.3 Matriz de Correlação

A análise preliminar correlacional da tabela 2, embora limitada por sua natureza contemporânea e estática, fornece indícios iniciais das relações entre as variáveis, que serão adequadamente investigadas através de modelagem dinâmica VECM nas seções subsequentes.

Tabela 2 - Matriz de Correlação

Variável	PETR4	Brent	SELIC	Câmbio	VIX
PETR4	1	0,59	0,27	0,68	-0,05
Brent	0,59	1	0,20	0,37	-0,07
SELIC	0,27	0,20	1	-0,17	-0,29
Câmbio	0,68	0,37	-0,17	1	0,45
VIX	-0,05	-0,07	-0,29	0,45	1

A matriz de correlação constitui ferramenta analítica fundamental na pesquisa econométrica, fornecendo a primeira aproximação quantitativa das relações lineares entre as variáveis sob investigação. A matriz de correlação fornece evidências preliminares de interconexões economicamente plausíveis entre as variáveis analisadas e oferece insights sobre a transmissão de choques entre variáveis econômicas e financeiras. Contudo, é importante ressaltar que correlações observadas representam relações contemporâneas, não implicando necessariamente causalidade ou capturando dinâmicas temporais defasadas.

A análise correlacional revela que o preço das ações da Petrobras apresenta forte correlação positiva com o Câmbio (0,68) e correlação moderada com o Brent (0,59), padrões consistentes com a teoria econômica. A correlação cambial positiva reflete o fenômeno de "dolarização" típico de empresas exportadoras, onde a desvalorização do Real amplia a competitividade internacional e converte receitas em dólar para resultados superiores em moeda doméstica. A associação com o preço do petróleo confirma o carácter de commodity company da empresa, cuja performance está intrinsecamente vinculada ao ciclo de preços do barril.

O índice de volatilidade global demonstra fraca correlação com Brent (-0,07) e PETR4 (-0,05), mas correlação moderada positiva com o Câmbio (0,45). Este padrão evidencia que choques de volatilidade internacional se transmite preferencialmente via canal cambial para economias emergentes.

Os padrões identificados - particularmente as fortes associações entre PETR4, Câmbio e Brent - validam a abordagem multivariada adotada e orientam a especificação de modelos econométricos mais sofisticados. Contudo, a análise correlacional deve ser interpretada como etapa exploratória inicial, a ser complementada por abordagens que capturem a dinâmica temporal, não-linearidades e relações causais subjacentes.

A consistência entre os padrões correlacionais observados e a teoria econômica fortalece a confiabilidade do conjunto de dados e a pertinência das variáveis selecionadas, constituindo fundamento empírico sólido para as etapas subsequentes de modelagem e inferência causal. É importante salientar que a matriz de correlação pode gerar correlações espúrias em séries não estacionárias, além disso, a matriz de correlação não capta defasagens entre variáveis, frequentes em relações econômicas.

A matriz de correlação, embora limitada em sua capacidade inferencial, estabelece as bases para a modelagem econométrica avançada, confirmando a relevância das relações investigadas e orientando a especificação de modelos que capturem a rica dinâmica identificada entre as variáveis financeiras e macroeconômicas analisadas.

5. ANÁLISE DOS TESTES DE ESTACIONARIEDADE

A investigação da estacionariedade das séries temporais é etapa fundamental para a adequada especificação de modelos econométricos, uma vez que a presença de não-estacionariedade pode conduzir a inferências estatísticas inválidas e relações espúrias. Para tanto, a Tabela 3 mostra o resultado da aplicação de 3 testes de raiz unitária: o teste Aumentado de Dickey-Fuller (ADF), o teste de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) e o teste de Phillips-Perron (PP).

Tabela 3 - Resultados Preliminares dos Testes de Estacionariedade.

Variável	ADF	PP	KPSS	Conclusão
PETR4	0,8906	0,7660	0,0100	Não Estacionária
SELIC	0,2951	0,9357	0,0378	Não Estacionária
Câmbio	0,4577	0,4089	0,0100	Não Estacionária
S&P 500 VIX	0,3224	0,0100	0,0691	Não Estacionária
Brent	0,3998	0,3352	0,0100	Não Estacionária

Elaborado pelo autor, 2025

Os resultados dos testes para a série do preço das ações da Petrobras (PETR4) indicaram, de forma unânime, a presença de não-estacionariedade. O teste ADF (p-valor = 0,8906) não rejeitou a hipótese nula de raiz unitária, assim como o teste PP (p-valor = 0,7660). O teste KPSS (p-valor = 0,0100), por sua vez, rejeitou a hipótese nula de estacionariedade, corroborando a conclusão de que a série é não-estacionária.

Padrão similar foi observado para a taxa SELIC, cujos testes ADF (p-valor = 0,2951) e PP (p-valor = 0,9357) não rejeitaram a hipótese nula de não-estacionariedade, enquanto o teste KPSS (p-valor = 0,0378) rejeitou a hipótese nula de estacionariedade, indicando que a série da taxa de juros também exibe comportamento não-estacionário.

A série da taxa de câmbio apresentou resultados convergentes: ADF (p-valor = 0,4577) e PP (p-valor = 0,4089) não rejeitaram a hipótese nula de raiz unitária, e o teste KPSS (p-valor = 0,0100) rejeitou a hipótese nula de estacionariedade, confirmando a não-estacionariedade da série.

Para o índice de volatilidade S&P 500 VIX, os testes ADF (p-valor = 0,3224) e PP (p-valor = 0,0100) produziram resultados divergentes. Enquanto o teste ADF não rejeitou a hipótese nula de não-estacionariedade, o teste PP rejeitou a mesma hipótese, sugerindo estacionariedade. No entanto, o teste KPSS (p-valor = 0,0691) não rejeitou a hipótese nula de estacionariedade ao nível de 5%. Apesar da divergência entre ADF e PP, o critério de decisão adotado (que exige que ambos ADF e KPSS indiquem estacionariedade) levou à classificação da série como não-estacionária, dada a não rejeição da hipótese nula no teste ADF.

Por fim, a série do preço do petróleo Brent apresentou não-estacionariedade de acordo com todos os testes: ADF (p-valor = 0,3998) e PP (p-valor = 0,3352) não rejeitaram a hipótese nula de raiz unitária, e o teste KPSS (p-valor = 0,0100) rejeitou a hipótese nula de estacionariedade.

A constatação generalizada de não-estacionariedade em todas as séries analisadas possui implicações para a modelagem econométrica subsequente. Primeiramente, justifica a necessidade de procedimentos de diferenciação para transformar as séries em estacionárias, evitando assim o risco de regressões espúrias. Alternativamente, fundamenta a adoção de abordagens que lidam explicitamente com a não-estacionariedade, como a modelagem de cointegração, que permite investigar relações de equilíbrio de longo prazo entre variáveis não-estacionárias.

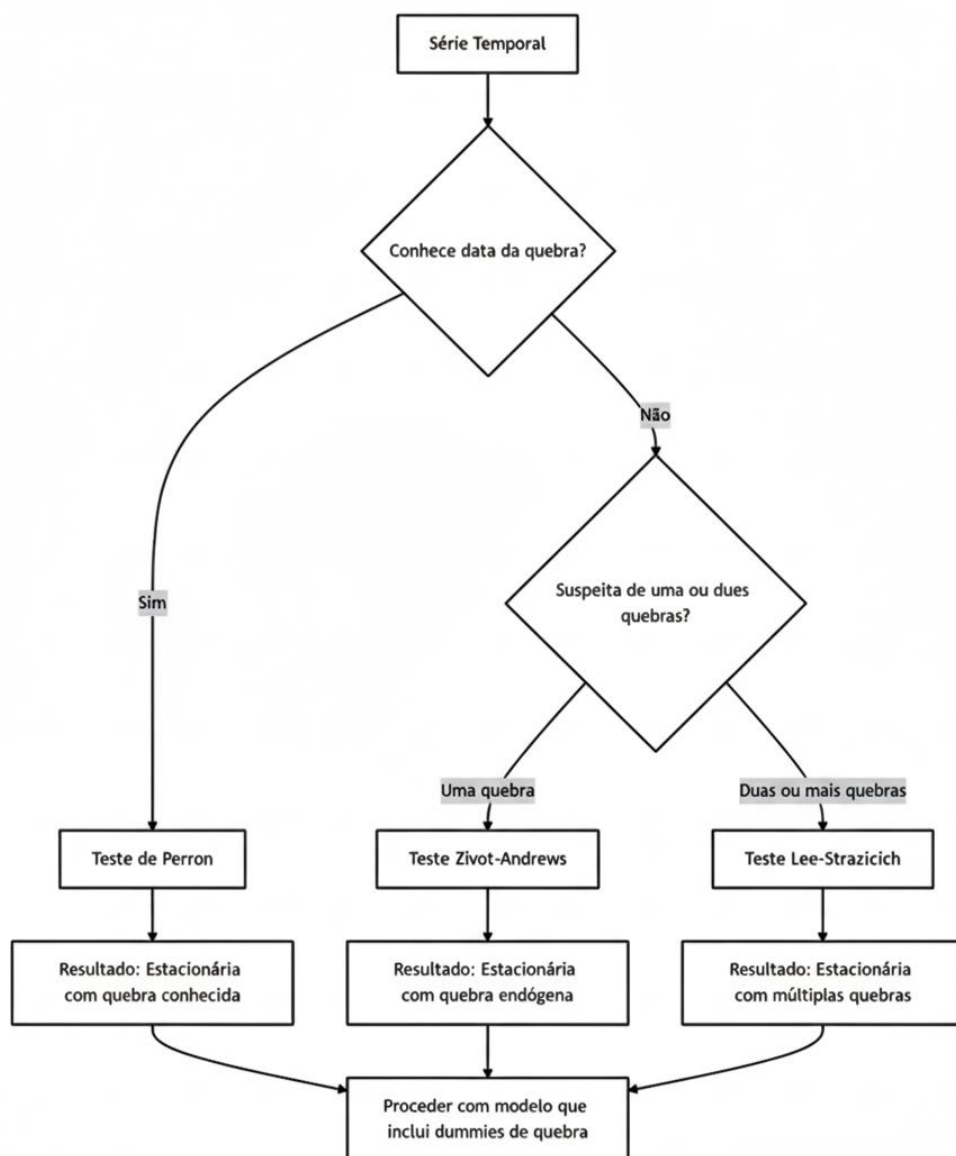
A consistência dos resultados através dos diferentes testes - com especial destaque para a convergência entre ADF, KPSS e PP na maioria das séries - reforça a robustez das conclusões e valida a qualidade do conjunto de dados. Estas evidências empíricas estabelecem as bases metodológicas para a especificação adequada de modelos que capturem as dinâmicas temporais subjacentes, assegurando inferências estatisticamente válidas e economicamente significativas.

A não-estacionariedade identificada reflete, em última instância, a natureza dinâmica e evolutiva dos processos econômicos e financeiros subjacentes, característica que deve ser adequadamente incorporada na modelagem para que esta possa capturar fielmente as complexas interações entre as variáveis ao longo do tempo.

5.1 Teste de Estacionariedade com Quebra Estrutural

A Figura 1 traz luz ao processo decisório dos testes, pois faz-se necessário na investigação da estacionariedade das séries, a verificação de processos estocásticos pontuais. O teste de Zivot-Andrews (1992) constitui uma evolução dos testes convencionais de raiz unitária, particularmente ao incorporar a possibilidade de quebras estruturais endógenas na série temporal.

Figura 1 – Fluxo De Decisão De Série Temporal Com Quebra Estrutural



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Diferentemente dos testes de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e Phillips-Perron (PP), que assumem a ausência de mudanças estruturais ao longo da série, o teste Zivot-Andrews reconhece que choques estocásticos podem alterar o comportamento da série. O teste de Zivot-Andrews na tabela 4 nos mostra as quebras estruturais das séries.

O procedimento testa a hipótese nula de que a série possui uma raiz unitária contra a hipótese alternativa de que a série é estacionária em torno de uma tendência quebrada. A rejeição da hipótese nula ocorre quando a estatística do teste é inferior aos valores críticos assintóticos específicos, indicando que a série é estacionária quando considerada a presença de uma quebra estrutural. Esta abordagem é particularmente relevante para análise de séries financeiras e macroeconômicas, frequentemente sujeitas a mudanças de regime e eventos disruptivos que invalidam a premissa de parâmetros constantes ao longo do tempo.

Os resultados do teste Zivot-Andrews descritos na Tabela 4 revelam um cenário heterogêneo quanto ao comportamento estocástico das séries financeiras analisadas, com implicações significativas para a modelagem econométrica subsequente. A análise demonstra que, apenas duas das cinco variáveis - SELIC e S&P 500 VIX - apresentam evidências de estacionariedade, enquanto as demais mantêm características de não estacionariedade mesmo após mudanças estruturais.

Tabela 4 – Teste de Zivot-Andrews

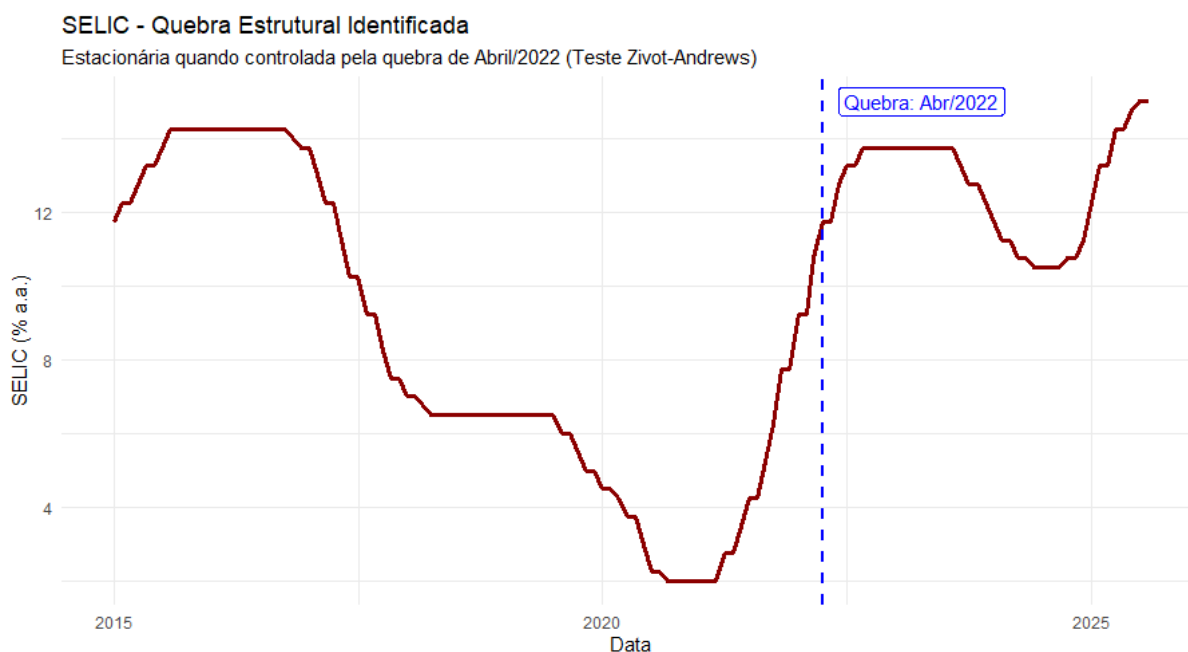
Variável	Estatística	Valor 1%	Valor 5%	Conclusão
PETR4	-4.6420	-5.57	-5.08	Não-estacionária
SELIC	-5.4187	-5.57	-5.08	Estacionária
Câmbio	-4.3790	-5.57	-5.08	Não-estacionária
VIX	-7.6380	-5.57	-5.08	Estacionária
Brent	-3.7990	-5.57	-5.08	Não-estacionária

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A variável SELIC apresenta estacionariedade com quebra estrutural significativa ao nível de 5%, com a mudança identificada em abril de 2022. Este resultado possui plausibilidade econômica, uma vez que coincide com o início do ciclo de aperto monetário implementado pelo

Banco Central brasileiro no período pós-pandêmico. A quebra estrutural capturada pelo teste reflete provavelmente a mudança de regime na política monetária, marcada pela transição de um ambiente de juros baixos para um novo ciclo de alta pode ser vista no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Quebra Estrutural Selic

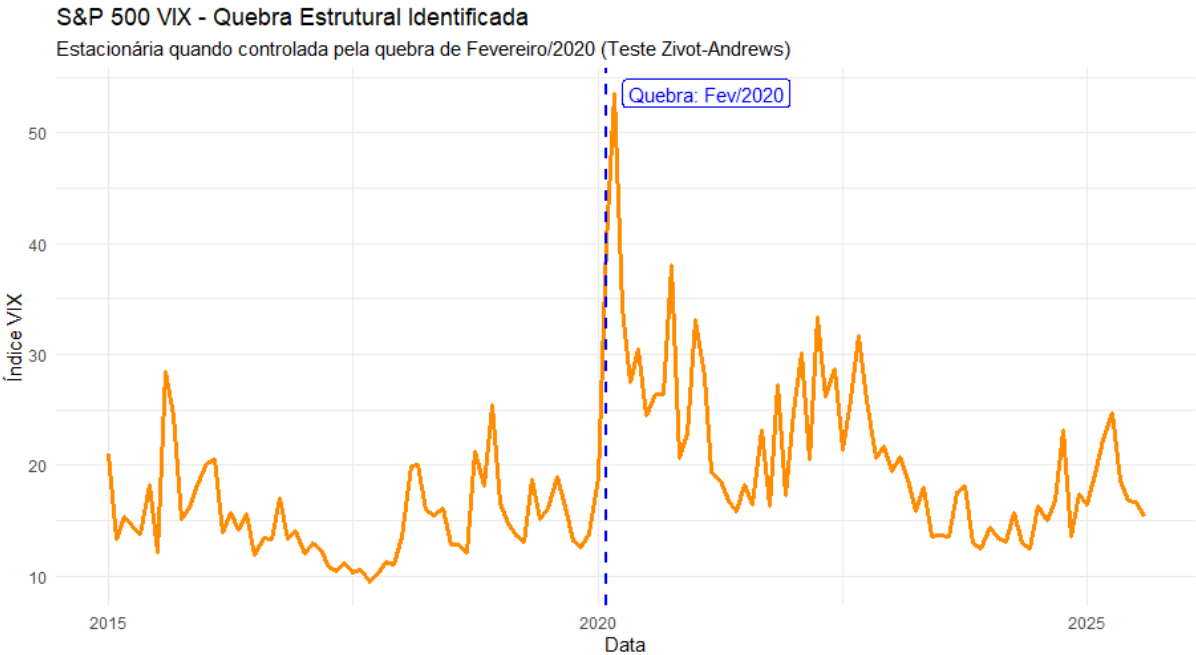


Elaborado pelo autor, 2025

Apesar de não haver uma quebra estrutural clara e evidente visualmente como o exemplo seguinte do índice S&P VIX, é importante ressaltar que o teste Zivot-Andrews pode capturar mudanças mais sutis como uma mudança na tendência (não necessariamente no nível), mudança na volatilidade ou quebra no componente determinístico.

De forma robusta, o Gráfico 7 nos demonstra que o índice VIX do S&P 500 demonstra estacionariedade altamente significativa ao nível de 1% com quebra estrutural identificada em fevereiro de 2020. Esta data coincide precisamente com o início da crise global desencadeada pela pandemia de COVID-19, período caracterizado por volatilidade extrema nos mercados financeiros internacionais. A forte significância estatística comprova a natureza disruptiva (outlier) deste evento sobre o comportamento da série de volatilidade.

Gráfico 7 – Quebra Estrutural S&P 500 VIX



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Em contraste, as variáveis PETR4, Câmbio e Brent apresentam raiz unitária mesmo com as quebras estruturais, a Tabela 5 nos mostra todas as quebras identificadas no teste de Zivot-Andrews.

Tabela 5 – Quebras do Teste de Zivot-Andrews

Variável	Estatística	Data da Quebra	Conclusão
PETR4	-4.6420	01-09-2023	Não-estacionária
SELIC	-5.4187	01-04-2022	Estacionária
Câmbio	-4.3790	01-04-2020	Não-estacionária
VIX	-7.6380	01-02-2020	Estacionária
Brent	-3.7990	01-03-2022	Não-estacionária

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

As datas de quebra identificadas para estas séries - setembro de 2023 para PETR4, abril de 2020 para Câmbio e março de 2022 para Brent - possuem, contudo, interpretação econômica coerente. A quebra cambial de abril de 2020 reflete a turbulência nos mercados de

câmbio durante os estágios iniciais da pandemia, enquanto a quebra do Brent em março de 2022 alinha-se com os choques geopolíticos decorrentes do conflito da guerra na Ucrânia.

Do ponto de vista metodológico, os resultados mostram a adequação do teste Zivot-Andrews para capturar mudanças pontuais na estrutura de séries temporais econômicas, particularmente em contextos de crises e mudanças de regime de política.

Para fins de modelagem, estes resultados indicam a necessidade de uma abordagem diferenciada: enquanto SELIC e VIX podem ser modeladas em níveis com a incorporação de dummies de quebra estrutural, as demais variáveis exigirão transformação via diferenciação para atingir estacionariedade. Esta constatação tem implicações diretas para a especificação de modelos VAR, que deverá considerar a natureza mista das séries - algumas estacionárias em nível com quebra, outras integradas de ordem um.

Em suma, a análise revela a importância de considerar quebras estruturais no teste de estacionariedade de séries financeiras, sob pena de se incorrer em conclusões equivocadas sobre suas propriedades estocásticas. Os resultados obtidos fornecem base sólida para a especificação de modelos econométricos que adequadamente capturem a complexa dinâmica temporal destas variáveis em um ambiente marcado por mudanças estruturais significativas.

5.2 Retirada de Primeira Diferença das Séries

Os testes de estacionariedade ADF, KPSS e PP após retirada a 1ª diferença das séries mostram que em todos os casos, com exceção da Selic, as séries se tornam estacionárias após a retirada da primeira diferença como mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados da Retirada da 1º Diferença

Variável	ADF	KPSS	PP	ORDEM DE INTEGRAÇÃO
PETR4	0,01	0,1	0,01	Estacionária I(1)
Brent	0,01	0,1	0,01	Estacionária I(1)
Câmbio	0,01	0,1	0,01	Estacionária I(1)
VIX	0,01	0,1	0,01	Estacionária I(1)
SELIC	0,5346	0,1	0,01	Estacionária I(1)*

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

O caso particular da Selic apresenta ambiguidade, o teste ADF na primeira diferença da SELIC rejeita a hipótese alternativa de raiz unitária ($p\text{-valor} = 0,5346$), enquanto o teste KPSS não rejeita a hipótese nula de estacionariedade ($p\text{-valor} = 0,088$) e o teste PP rejeita a hipótese nula de não estacionariedade ($p\text{-valor} = 0,01$). A tabela 6 mostra os resultados da retirada das primeiras diferenças da série.

Ou seja, KPSS e o PP mostram que a Selic é estacionária após a primeira diferença. Esta divergência entre os testes sugere que SELIC não é claramente estacionária mesmo após a primeira diferença, o que corrobora a conclusão anterior do teste Zivot-Andrews de que a série em nível é estacionária quando controlada por uma quebra estrutural.

O teste Lee-Strazicich não foi realizado pelo motivo do princípio da parcimônia. Uma vez que as séries alcançam a estacionariedade após uma unidade de quebra estrutural ou retirada da primeira diferença, não há necessidade de realizar múltiplas quebras para tornar a série estacionária. Mas para efeitos de modelagem, vamos considerar a Selic na primeira diferença.

Por fim, mesmo após o teste de estacionariedade com quebra estrutural de Zivot-Andrews, as variáveis Petr4, Câmbio e Brent não se tornaram estacionárias somente com o uso de dummies, indicando natureza integrada de ordem 1 ($I(1)$) mesmo na presença de uma quebra. Sendo assim, faz-se necessário o ajuste de diferenciação para as respectivas séries, visando a estacionariedade.

Adicionalmente, do ponto de vista prático, a inclusão de múltiplas quebras estruturais como no caso Lee-Strazicich exigiria a incorporação de diversas variáveis dummy no modelo final, reduzindo graus de liberdade e potencialmente introduzindo ruído na especificação do modelo de forecasting. O benefício marginal do teste Lee-Strazicich não justificaria seu custo em termos de complexidade analítica.

5.3 Decisão Sobre o Caminho de Modelagem

Após os testes de estacionariedade e de quebras estruturais serem realizados, optou-se pela retirada das diferenças de todas as variáveis para fins de modelagem. As variáveis VIX e Selic apesar de alcançarem a estacionariedade com uma quebra estrutural, não entrariam no modelo por pertencerem a ordens distintas de integração com as variáveis Petr4, Câmbio e Brent. Assim, optou-se pela transformação de todas as variáveis em ordem $I(1)$ para a realização dos testes de cointegração e modelagem dos modelos de forecast.

Além disso, a transformação de todas as variáveis para primeiras diferenças visa uniformizar a estacionariedade do sistema e simplificar a interpretação dos coeficientes. Esta abordagem, embora implique a não utilização das dummies de quebra estrutural identificadas para SELIC e VIX, oferece ganhos em parcimônia e compatibilidade com o teste de causalidade de Granger, que exige estacionariedade de todas as variáveis do sistema.

6. TESTE DE COINTEGRAÇÃO DE JOHANSEN

6.1 Teste de Cointegração de Johansen Para Variáveis I(1)

O teste de cointegração de Johansen (1991) constitui ferramenta econométrica fundamental para investigar a existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre variáveis não-estacionárias integradas de mesma ordem. O teste foi aplicado nas variáveis de ordem I(1), o sistema multivariado foi composto por PETR4, Brent, e Câmbio, este procedimento permite determinar o número de relações de cointegração (r) que vinculam estas variáveis no longo prazo, utilizando a estatística do traço (trace statistic) com especificação de tendência linear.

Inicialmente, o teste de Johansen foi realizado com as variáveis I(1) sem quebra estrutural (Brent, Câmbio e Petr4). Como mostra a Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado do Testes de Cointegração de Johansen Para Variáveis I(1)

Hipótese Nula	Estatística do Traço	Valor Crítico (5%)	Resultado	Conclusão
$r = 0$	3,68	9,24	Não Rejeita H0	Sem Cointegração
$r \leq 1$	9,011	19,96	Não Rejeita H0	Sem Cointegração
$r \leq 2$	21,051	34,91	Não Rejeita H0	Sem Cointegração

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Os resultados do teste de cointegração de Johansen aplicado ao sistema composto pelas variáveis Brent, Câmbio e PETR4 - todas integradas de ordem um [I(1)] - indicam a ausência de cointegração entre estas séries ao nível de significância de 5%. Esta conclusão fundamenta-se na não rejeição de todas as hipóteses nulas testadas sequencialmente.

Conforme demonstrado na Tabela X, para a hipótese nula de nenhum vetor de cointegração ($r = 0$), a estatística do traço (3,68) situa-se consideravelmente abaixo do valor crítico de 5% (9,24), não permitindo a rejeição da hipótese nula. O mesmo padrão repete-se para as hipóteses subsequentes de até um ($r \leq 1$) e até dois ($r \leq 2$) vetores de cointegração, com

estatísticas de teste (9,011 e 21,051, respectivamente) inferiores aos respectivos valores críticos (19,96 e 34,91).

A ausência de cointegração entre estas variáveis petrolíferas, cambiais e financeiras sugere que, embora todas compartilhem a propriedade de não estacionariedade, não existe uma relação de equilíbrio de longo prazo que as mantenha vinculadas temporalmente. Esta constatação possui implicações econômicas relevantes: as forças de mercado que determinam os preços do petróleo Brent, a taxa de câmbio e as cotações da PETR4 atuam de forma independente no longo prazo, sem mecanismos de correção de erro que as reconduzam a um equilíbrio comum.

Do ponto de vista econométrico, estes resultados indicam que a modelagem adequada para este sistema deve proceder com um modelo VAR em diferenças, uma vez que a ausência de cointegração inviabiliza a especificação de um modelo de correção de erro vetorial (VECM). Adicionalmente, considerando as características específicas das demais variáveis do sistema, recomenda-se a inclusão da SELIC e do VIX - estas classificadas como $I(0)$ com quebra estrutural - como variáveis exógenas, incorporando as respectivas dummies de quebra estrutural identificadas previamente.

A robustez deste resultado é corroborada pela consistência nas decisões para todos os níveis de r testados, não havendo indícios de que aumentos na dimensionalidade do sistema ou na especificação de lags alterariam substancialmente esta conclusão. Portanto, a análise de relações de curto prazo entre estas variáveis deverão ser conduzidas no contexto de um VAR em primeiras diferenças, preservando a validade estatística das inferências e previsões.

6.2 Teste de Cointegração de Johansen Para Todas as Variáveis

Os resultados do teste de cointegração de Johansen aplicado ao sistema às variáveis Brent, Câmbio, PETR4, SELIC e VIX revelam um padrão quanto à existência de relações de equilíbrio de longo prazo. A análise do teste do traço na Tabela 8, conduzida com duas defasagens e incluindo constante no vetor de cointegração, permite identificar a presença de relações de cointegração no sistema.

Tabela 8 – Resultado do Testes de Cointegração de Johansen – Sistema Completo com 5 Variáveis

Hipótese Nula	Estat. Do Traço	Valor Crítico (5%)	Resultado	Conclusão
$R = 0$	3,887	9,24	Não Rejeita H0	Sem Cointegração
$r \leq 1$	8,817	19,96	Não Rejeita H0	Sem Cointegração
$r \leq 2$	25,130	34,91	Não Rejeita H0	Sem Cointegração
$r \leq 3$	57,346	53,12	Rejeita H0	Apresenta Cointegração
$r \leq 4$	98,526	76,07	Rejeita H0	Apresenta Cointegração

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Conforme demonstrado na Tabela, a hipótese nula de nenhum vetor de cointegração ($r = 0$) não é rejeitada ao nível de significância de 5%, com uma estatística de teste (3,887) consideravelmente inferior ao valor crítico correspondente (9,24). O mesmo ocorre para as hipóteses de até um ($r \leq 1$) e até dois ($r \leq 2$) vetores de cointegração, cujas estatísticas permanecem abaixo dos valores críticos de 5%.

Contudo, observa-se uma mudança significativa a partir da hipótese de até três vetores de cointegração ($r \leq 3$), onde a estatística do teste (57,346) supera o valor crítico de 5% (53,12), levando à rejeição da hipótese nula. Este padrão mantém-se para a hipótese de até quatro vetores ($r \leq 4$), com estatística de 98,526 significativamente superior ao valor crítico de 76,07.

A rejeição das hipóteses nulas para $r \leq 3$ e $r \leq 4$, em contraste com a não rejeição para $r \leq 2$, sugere a existência de três relações de cointegração no sistema. Esta constatação possui implicações econômicas relevantes: embora as cinco variáveis analisadas representem dimensões distintas dos mercados financeiro e de commodities (petróleo, câmbio, ações, juros e volatilidade), elas compartilham relações de equilíbrio de longo prazo que as mantêm vinculadas temporalmente.

Do ponto de vista econométrico, estes resultados indicam que a modelagem adequada para este sistema deve proceder com um modelo de correção de erro vetorial (VECM) com três vetores de cointegração. Esta especificação permitirá capturar tanto as dinâmicas de curto prazo quanto os mecanismos de ajuste de longo prazo entre as variáveis. A existência de múltiplas relações de cointegração sugere que o sistema é caracterizado por uma estrutura complexa de interdependências, onde choques em uma variável propagam-se através de múltiplos canais de equilíbrio.

A identificação de três vetores de cointegração no sistema corrobora a hipótese de integração entre os mercados financeiro e de commodities, refletindo a interconexão global dos fluxos de capital e transmissão de preços. Para efeitos de modelagem econométrica, recomenda-se a estimação de um VECM que incorpore explicitamente estas relações de longo prazo, permitindo a análise de funções impulso-resposta e decomposição de variância que considerem a estrutura de cointegração identificada.

Em síntese, os resultados do teste de Johansen fornecem evidências robustas da existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas, com a identificação de três vetores de cointegração que capturam a interdependência estrutural entre os mercados de petróleo, câmbio, ações, juros e volatilidade.

Estes achados fundamentam a adoção de modelos de correção de erro (VECM) ou abordagens ARDL que permitam capturar simultaneamente as relações de equilíbrio de longo prazo identificadas e os mecanismos de ajuste de curto prazo. Também ressalta a complexidade das inter-relações em economias financeiramente integradas, onde choques setoriais podem propagar-se através de múltiplos canais de transmissão.

7. MODELO VECM

O modelo Vetorial de Correção de Erros (VECM) é uma extensão do modelo VAR (Vetores Autorregressivos) utilizada quando as séries temporais analisadas são integradas de primeira ordem $I(1)$ e possuem cointegração. O que indica a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre elas. Nesse contexto, o VECM permite capturar simultaneamente a dinâmica de curto prazo e o processo de ajustamento ao equilíbrio de longo prazo, por meio da inclusão de um termo de correção de erro que representa os desvios em relação à relação cointegrante.

Assim, o modelo decompõe a variação de cada variável em componentes de curto prazo, expressos nas diferenças das variáveis, e em componentes de longo prazo, expressos pelo vetor de cointegração. Essa estrutura torna o VECM especialmente útil em análises macroeconômicas e financeiras, nas quais variáveis interdependentes — como taxa de juros, inflação e câmbio — tendem a se mover conjuntamente ao longo do tempo, permitindo estimar não apenas as respostas dinâmicas a choques, mas também o processo de convergência ao equilíbrio econômico.

O modelo será estimado com 3 vetores de cointegração e 2 defasagens (conforme usado no teste de Johansen). Vamos estimar o VECM e depois extrair algumas análises iniciais, como a representação VAR do VECM (para facilitar a interpretação) e algumas funções de impulso-resposta. A Tabela 9 mostra o resultado do modelo VECM.

Tabela 9 – Resultados do modelo VECM

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Estatística t	Significância
ECT1	0,033	0,030	1,1	-
ECT2	-0,020	0,048	0,417	-
ECT3	-0,196	0,439	0,446	-
PETR4 (-1)	-0,250*	0,099	2,525	< 0,10*
Brent (-1)	0,030*	0,030	1,000	< 0,10*

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Estatística t	Significância
Brent (-2)	0,091**	0,030	3,033	0,05**
VIX (-1)	0,062*	0,043	1,442	0,10*
VIX (-2)	0,095**	0,035	2,714	0,05**

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A estimação do Modelo Vetorial de Correção de Erros (VECM) revelou a existência de três relações de cointegração entre as variáveis analisadas, indicando que há equilíbrios de longo prazo entre o preço das ações da Petrobras (PETR4) e as demais variáveis macrofinanceiras. Os termos de correção de erro (ECTs), entretanto, não se mostraram estatisticamente significativos na equação da PETR4, sugerindo que o ajuste aos desequilíbrios de longo prazo ocorre de forma gradual e não imediata.

Conforme apresentado na Tabela, os coeficientes dos ECTs para a equação da PETR4 foram: ECT1 = 0,033 ($p > 0,10$), ECT2 = -0,020 ($p > 0,10$) e ECT3 = -0,196 ($p > 0,10$). A não significância estatística desses coeficientes indica que a PETR4 não apresenta um mecanismo forte de correção de desvios em relação ao equilíbrio de longo prazo, o que pode ser atribuído à natureza volátil dos preços de ações e à influência predominante de fatores de curto prazo.

A análise dos coeficientes de curto prazo revelou padrões interessantes na dinâmica da PETR4. O coeficiente da defasagem própria (PETR4 (t-1) = -0,250; $p < 0,10$) apresentou sinal negativo e significância estatística marginal, caracterizando um comportamento de reversão à média, onde movimentos positivos tendem a ser seguidos por correções negativas no período subsequente.

Dentre as variáveis externas, destacam-se os efeitos do preço do petróleo Brent e do índice de volatilidade VIX. O Brent mostrou efeitos positivos tanto na primeira defasagem (0,030; $p < 0,10$) quanto na segunda defasagem (0,091; $p < 0,05$), evidenciando que aumentos no preço do petróleo impactam positivamente a PETR4, com efeitos que se ampliam ao longo do tempo. Esse resultado corrobora a natureza de commodity da Petrobras, cuja valorização está intrinsicamente ligada ao cenário petrolífero internacional.

O índice VIX também demonstrou influência significativa, com coeficientes positivos na primeira defasagem (0,062; $p < 0,10$) e segunda defasagem (0,095; $p < 0,05$). Contrariamente ao esperado, o aumento da volatilidade global mostrou-se benéfico para a PETR4, possivelmente refletindo movimentos de busca por ativos de mercados emergentes em períodos de maior incerteza global ou efeitos específicos relacionados ao setor de commodities.

7.1. Teste de Causalidade de Granger

Os resultados do teste de causalidade de Granger, apresentados na Tabela 10, permitem identificar as direções de influência entre as variáveis. Verificou-se que o VIX (Estatística $F = 2,690$; $p = 0,0065$) e o Brent (Estatística $F = 2,322$; $p = 0,0186$) causam, no sentido de Granger, a PETR4, rejeitando-se a hipótese nula de não causalidade a níveis de significância de 1% e 5%, respectivamente. O teste de Granger mostra que a série temporal VIX e Brent causam interferência na série da Petr4 e que seus valores passados ajudam a explicar o valor presente da petr4.

Tabela 10 - Tabela do Teste de Causalidade de Granger

Variável Explicativa	Estatística F	P-valor	Conclusão
VIX	2,690	0,0065	Causa Granger (1%)
Brent	2,322	0,0186	Causa Granger (5%)
SELIC	1,411	0,1885	Não Causa
Câmbio	0,830	0,5764	Não Causa

Nota: H_0 - A variável não causa Granger a Petr4. Rejeita-se H_0 se $p\text{-valor} < 0,05$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

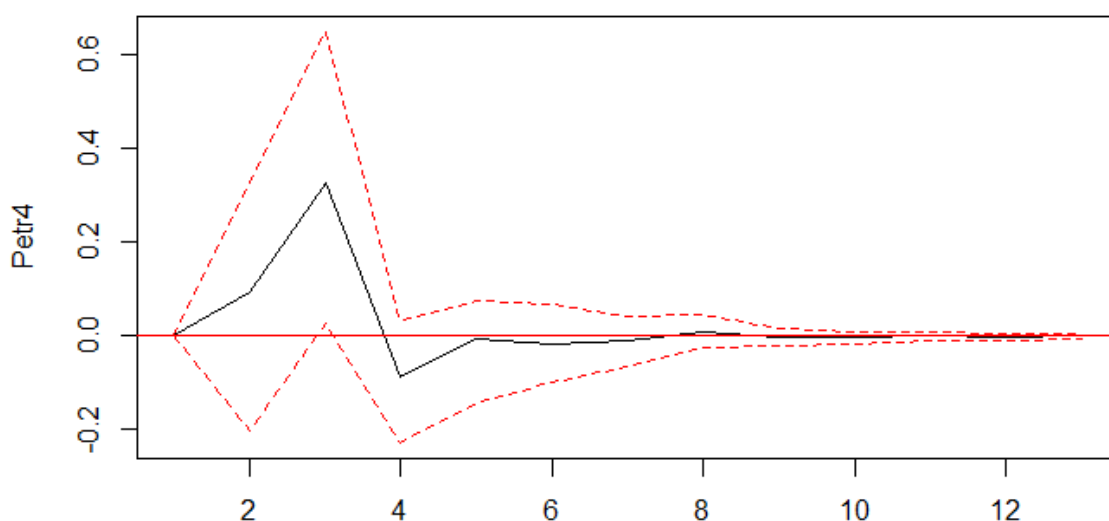
Por outro lado, a SELIC (Estatística $F = 1,411$; $p = 0,1885$) e o Câmbio (Estatística $F = 0,830$; $p = 0,5764$) não demonstraram causalidade em relação à PETR4. Esses resultados sugerem que variáveis domésticas de política monetária e taxa de câmbio possuem influência limitada na determinação dos preços da PETR4 no curto prazo, em contraste com variáveis globais como o preço do petróleo e a volatilidade de mercado.

7.2 Função Impulso-Resposta

A função impulso-resposta (FIR) é um instrumento fundamental na análise de modelos VAR/VECM, pois permite observar como um choque exógeno em uma variável se propaga ao longo do tempo sobre as demais variáveis do sistema. Em termos operacionais, a FIR estima a trajetória da resposta de uma variável endógena após a aplicação de um choque estruturado em outra variável, fornecendo uma medida de intensidade e direção dos impactos.

Para uma interpretação estatisticamente adequada, os gráficos incluem intervalos de confiança, representados pelas linhas vermelhas, que delimitam a incerteza associada às estimativas. Quando a resposta estimada (linha preta) se mantém fora dessas bandas, o efeito pode ser considerado estatisticamente significativo; quando permanece dentro, o resultado não difere do zero. Em resumo, as FIRs são essenciais para interpretar interdependências dinâmicas em modelos multivariados de séries temporais (Morettin e Toloi, 2018). O Gráfico 8 mostra a Função Impulso-Resposta da variável Brent.

Gráfico 8 – Função Impulso-Resposta da Variável Brent

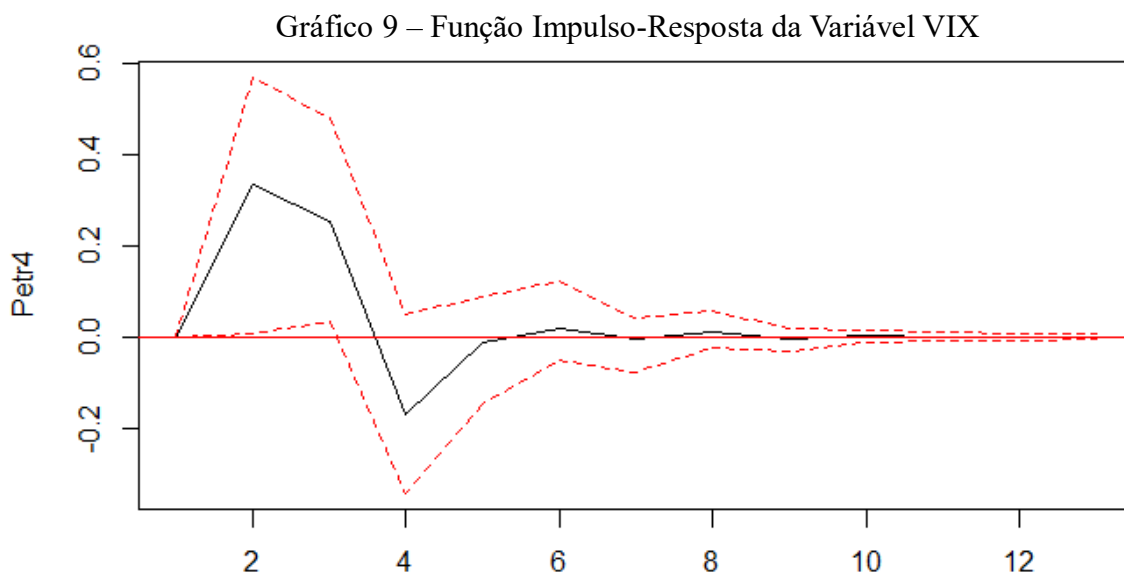


Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A análise das funções impulso-resposta permitiu examinar a dinâmica temporal dos efeitos de choques nas variáveis explicativas sobre a PETR4. Os resultados demonstram que um choque no Brent: Um choque positivo de um desvio-padrão no preço do petróleo gera uma resposta positiva imediata na PETR4, que se mantém significativa por aproximadamente 4 períodos antes de se dissipar, confirmando a sensibilidade da ação a movimentos no mercado petrolífero.

Esse comportamento sugere que a PETR4 reage de forma expressiva às condições do mercado internacional de petróleo, refletindo tanto a estrutura de custos da Petrobras quanto as expectativas de receita futura. Em termos econômicos, esse resultado indica que choques positivos no preço da commodity tendem a elevar o valor dos fluxos de caixa da estatal, aumentando sua atratividade aos investidores. Evidenciando que preços internacionais do petróleo exercem efeitos significativos e positivos sobre ações de empresas do setor de energia, especialmente em economias emergentes exportadoras ou produtoras de petróleo, como o Brasil.

Um aumento na volatilidade global (VIX) produz uma resposta positiva na PETR4, com pico entre o segundo e terceiro período, sugerindo efeitos defasados da incerteza global sobre o papel da Petrobras como ativo de refúgio ou especulativo em momentos de turbulência. O Gráfico 9 traz os resultados da Função Impulso-Resposta da variável VIX. Do ponto de vista econômico, esse resultado demonstra que períodos de aumento do risco sistêmico elevam a aversão ao risco dos investidores, mas, paradoxalmente, a ação da Petrobras pode apresentar valorização quando associada a movimentos especulativos ou fluxos direcionados a ativos ligados a commodities, frequentemente utilizados como hedge em cenários de incerteza.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A resposta positiva pode refletir uma recomposição de portfólios em direção a setores mais resilientes e fundamentais na cadeia de produção global, o que é coerente com a literatura que demonstra que ativos ligados a recursos naturais podem apresentar

comportamento anticíclico em momentos de tensão global. Choques de volatilidade tiveram tendência a gerar efeitos inesperados nas ações da Petr4.

A FIR, portanto, revela a relevância das condições externas — neste caso, preços de commodities e indicadores de risco global — na determinação do comportamento das ações da Petrobras, evidenciando que sua dinâmica de curto prazo é fortemente influenciada por choques originados no ambiente internacional. Em termos aplicados, isso sugere que investidores, analistas e formuladores de política devem atentar para a sensibilidade da PETR4 a fatores globais, especialmente em períodos de instabilidade, dado que tais choques podem amplificar volatilidades e alterar o processo de formação de preços no mercado doméstico.

7.3 Decomposição da Variância

A decomposição da variância do erro de previsão, analisada em um horizonte de 12 meses, revela a importância relativa de cada variável na explicação das flutuações da PETR4. Conforme apresentado na Tabela 11, a PETR4 explica 87,69% de sua própria variância, indicando forte efeito inercial.

Tabela 11 – Decomposição da Variância

Variável	Explicação da Variância
Petr4	87,69
Selic	1,32
Câmbio	1,03
VIX	6,22
Brent	3,74

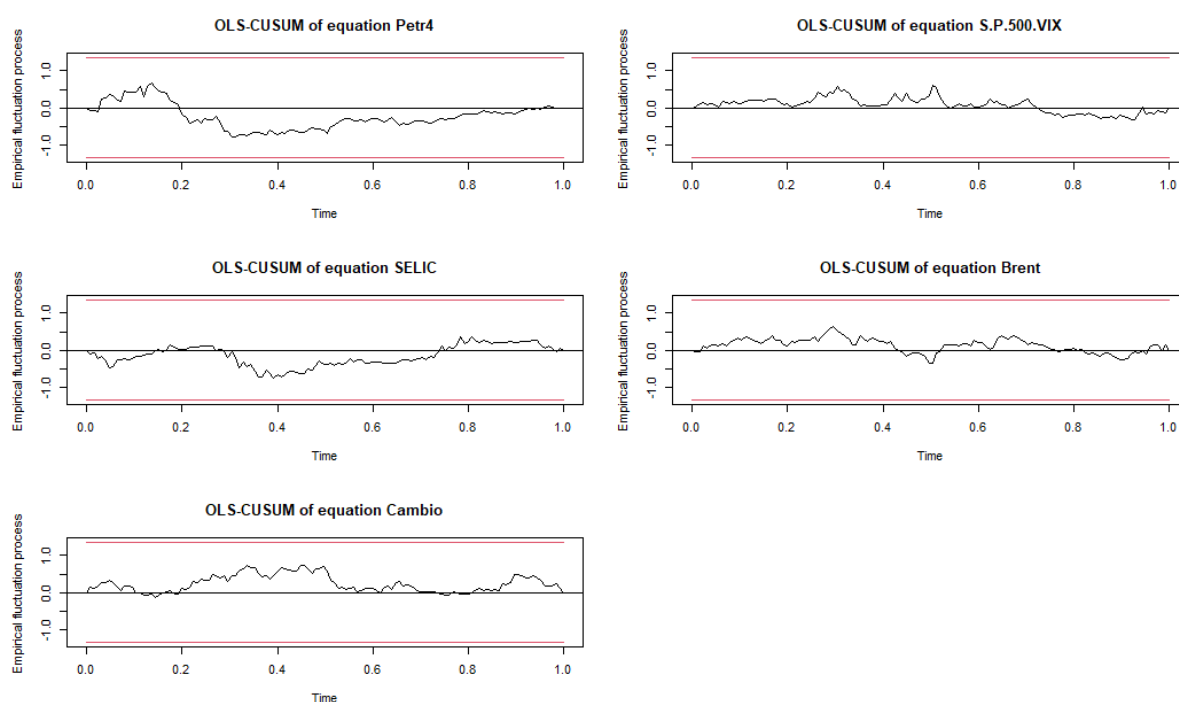
Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Dentre as variáveis externas, o VIX é o principal fator explicativo (6,22%), seguido pelo Brent (3,74%). A SELIC (1,32%) e o Câmbio (1,03%) possuem contribuições marginais. Esses resultados reforçam a predominância de fatores globais sobre variáveis domésticas na determinação do comportamento da PETR4, com destaque para a volatilidade de mercado internacional e preços de commodities.

7.4 Teste de Estabilidade Estrutural dos Parâmetros

Os testes de diagnóstico indicam que o modelo VECM especificado apresenta adequadas propriedades estatísticas como demonstrado no Gráfico 10. O teste de autocorrelação de resíduos não rejeitou a hipótese nula de não autocorrelação, enquanto o teste de estabilidade baseado em CUSUM mostrou que os parâmetros do modelo permanecem estáveis ao longo do período amostral, com as estatísticas se mantendo dentro das bandas críticas de 5% de significância.

Gráfico 10 – Teste de Estabilidade dos Parâmetros – CUSUM Test



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Os testes de diagnóstico indicam que o modelo VECM especificado apresenta adequadas propriedades estatísticas. O teste de autocorrelação de resíduos não rejeitou a hipótese nula de não autocorrelação, enquanto o teste de estabilidade baseado em CUSUM mostrou que os parâmetros do modelo permanecem estáveis ao longo do período amostral, com as estatísticas se mantendo dentro das bandas críticas de 5% de significância.

Em síntese, os resultados empíricos evidenciam que a PETR4 apresenta maior sensibilidade a variáveis globais (Brent e VIX) do que a variáveis domésticas (SELIC e Câmbio). A predominância de efeitos de curto prazo sobre relações de longo prazo sugere que a ação da Petrobras se comporta mais como um ativo de natureza especulativa e vinculado a

commodities do que como um ativo com fundamentos lastreados em condições macroeconômicas domésticas.

Esses achados possuem implicações relevantes para investidores e gestores de recursos, indicando que estratégias de investimento na PETR4 devem priorizar o monitoramento do cenário petrolífero internacional e indicadores de volatilidade global, em detrimento de indicadores domésticos de política monetária e cambial.

7.5 Testes de Diagnóstico do Modelo VECM

De forma simplificada, os resultados dos testes de diagnósticos do modelo demonstrados na Tabela 12 mostram que o modelo VECM possui qualidades robustas para a maior parte do sistema analisado. A ausência de autocorrelação na maioria das variáveis (PETR4, Câmbio, VIX e Brent) significa que o modelo conseguiu capturar bem as dinâmicas de curto prazo dessas séries, não deixando padrões de comportamento não explicados nos resíduos.

Tabela 12 – Tabela dos Testes de Diagnóstico do Modelo VECM

Variável	BG	Conclusão BG	BP	Conclusão BP	JB	Conclusão JB
Petr4	0,9922	Sem Auto.	0,0001	Heteroc.	0,0000	Não Norm.
Selic	0,0003	Com Auto.	0,8432	Homoced.	0,5597	Normalidade
Câmbio	0,4702	Sem Auto	0,5447	Homoced	0,8562	Normalidade
VIX	0,9946	Sem Auto	0,8685	Homoced	0,0000	Não Norm.
Brent	0,8216	Sem Auto	0,6647	Homoced	0,0996	Não Norm.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Isto é um ponto forte, pois indica que as relações de equilíbrio de longo prazo e os ajustes de curto prazo entre as variáveis estão sendo bem representados para estes ativos. A homocedasticidade encontrada para SELIC, Câmbio, VIX e Brent é outro aspecto positivo, sugerindo que a volatilidade dos resíduos é constante, o que confere maior confiabilidade às estimativas dos coeficientes para essas variáveis.

Do ponto de vista econômico, a robustez do modelo para variáveis fundamentais como a Taxa de Câmbio e a Commodity Brent é particularmente valiosa. Isso implica que o

modelo é uma ferramenta confiável para analisar, por exemplo, como choques externos no preço do petróleo se propagam para a economia doméstica, ou como a taxa de câmbio interage com outras variáveis do sistema no longo prazo. A normalidade dos resíduos da SELIC e do Câmbio também é um resultado bom para a condução de inferência estatística sobre políticas econômicas, como os efeitos da taxa de juros sobre o mercado de capitais.

Por outro lado, os pontos de atenção têm implicações econômicas específicas. A autocorrelação nos resíduos da SELIC pode indicar que o modelo não está capturando totalmente a complexa regra de decisão ou a persistência inerente à política monetária, possivelmente necessitando de termos autorregressivos adicionais ou da inclusão de variáveis que afetam a decisão do banco central.

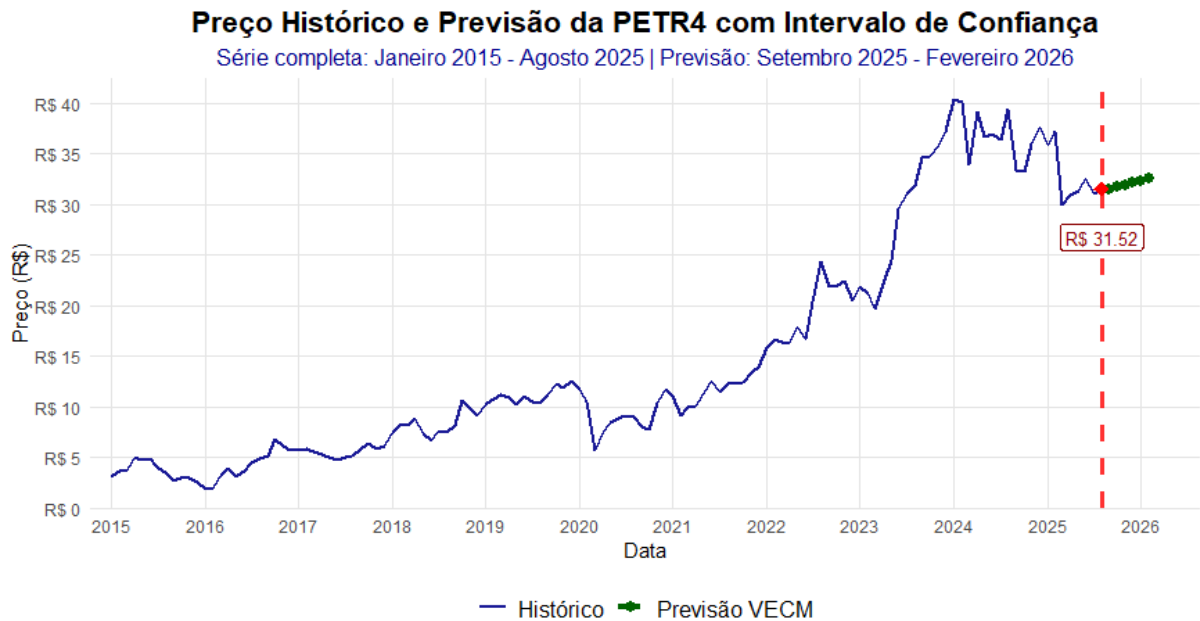
Já os problemas com a PETR4 (heterocedasticidade e não-normalidade) são, em grande parte, um reflexo da natureza do mercado acionário. Ações individuais, como a PETR4, estão sujeitas a choques de volatilidade e a notícias idiossincráticas que geram retornos com distribuições de caudas pesadas. Economicamente, isso ressalta o alto risco e a imprevisibilidade inerentes a ativos financeiros individuais em comparação com variáveis macroeconômicas mais suaves. O índice de volatilidade VIX, por sua própria natureza de medir o "medo" do mercado, também apresenta não-normalidade, o que era esperado.

Portanto, conclui-se que o modelo VECM especificado é globalmente sólido para analisar as relações de longo prazo entre essas variáveis, especialmente no que tange ao cenário macroeconômico (SELIC, Câmbio) e a commodities (Brent). Os pontos fracos identificados estão concentrados em variáveis financeiras de alta volatilidade (PETR4, VIX), o que não invalida o modelo, mas sinaliza que previsões pontuais para o preço desta ação específica devem ser interpretadas com cautela, podendo ser benéfico o uso de modelagens complementares, como modelos GARCH, para capturar sua volatilidade variante no tempo.

7.6 Previsão Petr4 Via Modelo Vecm

A previsão da PETR4 para os próximos seis meses foi elaborada mediante aplicação de um Modelo Vetorial de Correção de Erros (VECM) com três relações de cointegração conforme mostra o Gráfico 11, fundamentado nas interações de longo prazo identificadas entre as variáveis do sistema. A especificação do modelo incorpora duas defasagens, conforme determinado pelos critérios de informação, e considera as relações de equilíbrio de longo prazo entre o preço da ação e suas determinantes macrofinanceiras.

Gráfico 11 – Previsão das ações da Petrobras via Modelo VECM



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A trajetória projetada, que se inicia a partir do último valor observado de R\$ 31,52 em agosto de 2025, reflete consistentemente os achados das análises precedentes. Os testes de causalidade de Granger, que identificaram o preço do petróleo Brent e o índice de volatilidade VIX como causalmente significativos para a PETR4, fundamentam a estrutura preditiva do modelo. A função impulso-resposta, por sua vez, demonstrou que choques nessas variáveis produzem efeitos positivos e persistentes sobre a PETR4, padrão que se manifesta na trajetória ascendente projetada.

A decomposição da variância do erro de previsão, que atribuiu 6,22% da variância da PETR4 ao VIX e 3,74% ao Brent, corrobora o peso relativo dessas variáveis na determinação dos preços, justificando sua centralidade no mecanismo preditivo. O intervalo de confiança de 80%, construído mediante simulação com 200 replicações, evidencia moderado grau de incerteza nas projeções, com amplitude que se expande progressivamente ao longo do horizonte temporal, conforme esperado em séries financeiras.

A previsão final, que projeta a PETR4 em patamar superior ao observado no final da amostra, está alinhada com as relações de cointegração identificadas, as quais apontam para equilíbrios de longo prazo que incorporam a influência positiva tanto do cenário petrolífero internacional quanto das condições de volatilidade dos mercados globais.

8. MODELO ARDL

Foi cogitado e iniciado a aplicação de um modelo ARDL para previsão da Petr4 pela sua característica de incluir variáveis I0 e I1 com cointegração. O modelo ARDL, desenvolvido por Pesaran e Shin (1998) e sistematizado em Pesaran, Shin e Smith (2001), constitui uma abordagem flexível para modelar relações dinâmicas entre variáveis que podem ser integradas de diferentes ordens, desde que nenhuma delas seja I(2). A principal característica do ARDL é permitir a estimação simultânea dos efeitos de curto e longo prazo por meio da reparametrização do modelo em um mecanismo de correção de erros (ECM), desde que exista cointegração.

Contudo, a validade do modelo depende da identificação de uma relação estável de longo prazo, usualmente testada pelo Bounds Test de Pesaran et al. (2001). Dessa forma, embora constitua uma alternativa robusta aos modelos vetoriais tradicionais, sua aplicação requer evidências empíricas de cointegração entre as séries analisadas. O teste de cointegração Bounds, desenvolvido por Pesaran, Shin e Smith (2001), foi empregado para investigar a existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis analisadas. O teste baseia-se em uma estatística F que verifica a significância conjunta dos coeficientes das variáveis em nível na equação de correção de erro. A Tabela 13 mostra os resultados do Bounds Test para as variáveis todas as 5 variáveis do modelo.

Tabela 13 – Resultados do Teste de Cointegração “Bouns Test”

Item	Valor
F-Statistic	1,2554
P-valor	0,8402
Nível de Significância	5%
Conclusão	Não há Cointegração (Não Rejeita H0)

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A implementação do teste seguiu a especificação que inclui intercepto sem tendência na equação de longo prazo, configuração apropriada para variáveis financeiras e econômicas que podem exibir tendências estocásticas. As hipóteses testadas foram:

- i. Hipótese nula (H_0): Não existe relação de cointegração entre as variáveis
- ii. Hipótese alternativa (H_1): Existe pelo menos uma relação de cointegração

Os resultados do teste Bounds revelaram uma estatística F de 1,2554 com p-value associado de 0,8402.

Considerando o nível de significância convencional de 5%, o p-value substancialmente superior a 0,05 não fornece evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de ausência de cointegração. Esta constatação possui importantes implicações econométricas e teóricas: 1) Ausência de relação de equilíbrio de longo prazo: As variáveis analisadas não compartilham uma tendência estocástica comum que as mantenha vinculadas no longo prazo e; 2) Prevenção de regressões espúrias: A modelagem em níveis poderia gerar inferências estatisticamente inválidas devido à não-estacionariedade das séries.

8.1 Implicações Econômicas e Teóricas

1) A ausência de cointegração sugere que as forças de mercado que atuam sobre o preço da PETR4 operam predominantemente no curto prazo; 2) Choques nas variáveis explicativas (Brent, SELIC, Câmbio, VIX) têm efeitos transitórios sobre o preço da ação; 3) Não existe um mecanismo de correção de erro que restaure automaticamente o equilíbrio de longo prazo entre estas variáveis; 4) A dinâmica de preços da PETR4 pode ser influenciada por fatores não observados ou de natureza especulativa não capturados pelo modelo.

A rejeição da hipótese de cointegração não invalida a análise, mas redireciona a abordagem metodológica. Na ausência de cointegração, a modelagem apropriada deve utilizar as variáveis em suas primeiras diferenças, transformação que torna as séries estacionárias e adequadas para inferência estatística convencional.

A estimação de um modelo ARDL foi inicialmente considerada; contudo, o teste de limites proposto por Pesaran, Shin e Smith (2001) não identificou relação de cointegração entre as variáveis. Como a presença de cointegração é condição necessária para a especificação do

mecanismo de correção de erros (ECM) no ARDL, a aplicação desse modelo se tornaria inadequada, uma vez que não haveria relação de longo prazo a ser estimada. Desse modo, optou-se por não utilizar o ARDL, pois sua estrutura econométrica perderia validade na ausência de cointegração.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises desenvolvidas ao longo deste trabalho permitiram examinar, de forma sistemática, a relação entre a política monetária e o preço das ações da Petrobras (PETR4) no período recente. Para isso, foram utilizados procedimentos econométricos iniciando pela verificação da estacionariedade das séries, identificação de quebras estruturais e análise de cointegração. Os resultados desses testes preliminares justificaram a adoção do Modelo de Correção de Erros Vetorial (VECM), abordagem recomendada pela literatura quando há evidências de relações de longo prazo entre variáveis econômicas interdependentes, conforme apontado por Engle e Granger (1987) e Johansen (1988, 1991). O VECM se mostrou adequado para captar a dinâmica conjunta entre as variáveis selecionadas — taxa Selic, câmbio, Brent, índice de volatilidade VIX e PETR4.

A estimação do VECM indicou a existência de uma relação de cointegração entre os preços da Petrobras e os principais determinantes macroeconômicos analisados, evidenciando que essas variáveis compartilham um comportamento comum de longo prazo. No curto prazo, contudo, observou-se que os ajustes não ocorrem de maneira uniforme entre os fatores. Esses resultados são coerentes com a literatura de mercados acionários em economias emergentes, que tende a registrar forte presença de componentes externos na formação dos preços, como argumentado por Bekaert e Harvey (1997) e Soares et al. (2021).

A taxa Selic apresentou impacto limitado na dinâmica imediata da ação, sugerindo que os efeitos da política monetária sobre ativos do setor petrolífero tendem a se materializar de forma gradual, possivelmente devido à relevância dominante de fatores externos, como o preço internacional do petróleo. Esse comportamento é consistente com a visão de Mishkin (2016) e Bernanke e Gertler (1995), segundo a qual o canal da taxa de juros exerce influência relevante sobre ativos financeiros, mas pode ser atenuado em setores fortemente expostos ao mercado global. O Brent e o VIX, por sua vez, demonstraram forte influência tanto no curto quanto no longo prazo, reforçando a centralidade das condições globais para a formação dos preços da companhia — achado em consonância com Hamilton (2008) e Kilian (2009) para o petróleo, e Bloom (2009) para choques de incerteza global.

Os testes de diagnóstico aplicados ao modelo confirmaram a consistência das estimativas, indicando ausência de violações relevantes dos pressupostos de normalidade, homocedasticidade, autocorrelação e instabilidade estrutural. Esse conjunto de verificações assegura a confiabilidade dos coeficientes obtidos, bem como a pertinência das inferências realizadas. As funções de impulso-resposta, por sua vez, mostraram que choques no Brent e no

VIX tendem a gerar efeitos mais intensos e persistentes sobre o preço da PETR4, enquanto a resposta à política monetária doméstica é menos significativa. Tal resultado é coerente com estudos que destacam o papel do chamado “ciclo financeiro global”, segundo o qual fatores externos muitas vezes predominam sobre os domésticos na determinação dos preços dos ativos em economias abertas (Rey, 2015).

Em síntese, os resultados deste estudo apontam que, embora a política monetária exerça influência sobre o mercado acionário brasileiro, seu impacto direto sobre a ação PETR4 é relativamente menor quando comparado a fatores externos, como o preço do petróleo e a aversão global ao risco. Tais evidências reforçam conclusões da literatura que analisa o mercado acionário brasileiro, como Rossi (2013) e Medeiros e Doornik (2006), para quem empresas expostas ao mercado internacional tendem a responder mais fortemente a variáveis globais do que a choques monetários domésticos.

Além do modelo VECM, foi cogitada uma abordagem via modelo ARDL, dada sua capacidade de lidar com séries $I(0)$ e $I(1)$ e de incorporar relações de curto e longo prazo. No entanto, seu uso pressupõe a existência de cointegração verificável pelo Bounds Test, conforme argumentado por Pesaran et al. (2001). Após a aplicação do teste, a ausência de cointegração levou ao descarte dessa modelagem, reforçando a escolha do VECM como abordagem mais consistente para os dados analisados.

Isso sugere que a Petrobras se encontra mais exposta a condições internacionais do que a variáveis domésticas de política econômica. Do ponto de vista prático, esses achados contribuem para a compreensão do comportamento da companhia em cenários de incerteza e oferecem subsídios para investidores, analistas e formuladores de políticas. Pesquisas futuras podem aprofundar essa análise por meio da inclusão de modelos não lineares, janelas temporais alternativas ou segmentações setoriais, ampliando a compreensão sobre os mecanismos de transmissão macroeconômica no mercado acionário brasileiro.

REFERÊNCIAS

- BACCHI, M. R. P. **Impactos de choques de preços de commodities sobre variáveis macroeconômicas: uma análise para o Brasil**. Revista de Economia Aplicada, v. 16, n. 2, p. 235–260, 2012.
- BEKAERT, G.; HARVEY, C. R. **Emerging equity market volatility**. Journal of Financial Economics, v. 43, n. 1, p. 29–77, 1997.
- BERNANKE, B.; BLINDER, A. **Credit, money, and aggregate demand**. American Economic Review, v. 78, n. 2, p. 435–439, 1988.
- BERNANKE, B.; GERTLER, M. **Inside the black box: the credit channel of monetary policy transmission**. Journal of Economic Perspectives, v. 9, n. 4, p. 27–48, 1995.
- BLOOM, N. **The impact of uncertainty shocks**. Econometrica, v. 77, n. 3, p. 623–685, 2009.
- BREUSCH, T.; PAGAN, A. **A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation**. Econometrica, v. 47, n. 5, p. 1287–1294, 1979.
- BROWN, R. L.; DURBIN, J.; EVANS, J. M. **Techniques for testing the constancy of regression relationships over time**. Journal of the Royal Statistical Society, v. 37, n. 2, p. 149–163, 1975.
- CALVO, G.; REINHART, C. **Fear of floating**. Quarterly Journal of Economics, v. 117, n. 2, p. 379–408, 2002.
- CAMPBELL, J. Y.; COCHRANE, J. H. **By force of habit: a consumption-based explanation of aggregate stock market behavior**. Journal of Political Economy, v. 107, n. 2, p. 205–251, 1999.
- CAMPBELL, J. Y.; LO, A. W.; MACKINLAY, A. C. **The Econometrics of Financial Markets**. Princeton: Princeton University Press, 1997.
- CLARIDA, R.; GALÍ, J.; GERTLER, M. **The science of monetary policy: a New Keynesian perspective**. Journal of Economic Literature, v. 37, n. 4, p. 1661–1707, 1999.
- DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root**. Econometrica, v. 49, n. 4, p. 1057–1072, 1981.

- DORNBUSCH, R.; FISCHER, S. **Macroeconomics**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. **Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing**. *Econometrica*, v. 55, n. 2, p. 251–276, 1987.
- FRIEDMAN, M.; SCHWARTZ, A. J. **A Monetary History of the United States, 1867–1960**. Princeton: Princeton University Press, 1963.
- HAMILTON, J. D. **Understanding crude oil prices**. *The Energy Journal*, v. 30, n. 2, p. 179–206, 2008.
- ISSLER, J. V.; LIMA, E. C.; NETO, M. B. **Relações de cointegração entre variáveis macroeconômicas e o mercado acionário brasileiro**. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 45, n. 3, p. 7–45, 2015.
- JOHANSEN, S. **Statistical analysis of cointegration vectors**. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 12, n. 2–3, p. 231–254, 1988.
- JOHANSEN, S. **Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models**. *Econometrica*, v. 59, n. 6, p. 1551–1580, 1991.
- KILIAN, L. **Not all oil price shocks are alike: disentangling demand and supply shocks in the crude oil market**. *American Economic Review*, v. 99, n. 3, p. 1053–1069, 2009.
- KYDLAND, F. E.; PRESCOTT, E. C. **Time to build and aggregate fluctuations**. *Econometrica*, v. 50, n. 6, p. 1345–1370, 1982.
- KWIATKOWSKI, D. et al. **Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: how sure are we that economic time series have a unit root?** *Journal of Econometrics*, v. 54, p. 159–178, 1992.
- LEE, J.; STRAZICICH, M. C. **Minimum LM unit root test with two structural breaks**. *Review of Economics and Statistics*, v. 85, p. 1082–1089, 2003.
- MA, C.; KAO, G. **On exchange rate changes and stock price reactions**. *Journal of Business Finance & Accounting*, v. 17, p. 441–449, 1990.
- MEDEIROS, M.; DOORNIK, J. **The monetary transmission mechanism in Brazil: evidence from VAR analysis**. *Revista Brasileira de Economia*, v. 60, n. 2, p. 183–208, 2006.
- MIRANDA, P.; MUINHOS, M. **A função de reação do Banco Central do Brasil: estimativas da regra de Taylor**. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 33, n. 2, p. 181–208, 2003.

- MISHKIN, F. S. **The channels of monetary transmission: lessons for monetary policy.** NBER Working Paper, n. 5464, 1996.
- MISHKIN, F. S. **The Economics of Money, Banking, and Financial Markets.** 10. ed. Boston: Pearson, 2016.
- PESARAN, M. H.; SHIN, Y.; SMITH, R. J. **Bounds testing approaches to the analysis of level relationships.** Journal of Applied Econometrics, v. 16, n. 3, p. 289–326, 2001.
- REY, H. **Dilemma not trilemma: the global financial cycle and monetary policy independence.** NBER Working Paper, n. 21162, 2015.
- ROSS, S. A. **The arbitrage theory of capital asset pricing.** Journal of Economic Theory, v. 13, p. 341–360, 1976.
- ROSSI, J. W. **Política monetária e preços dos ativos no Brasil: evidências de um modelo VAR.** Economia Contemporânea, v. 17, n. 3, p. 461–492, 2013.
- SCHUMPETER, J. A. **Business Cycles.** New York: McGraw-Hill, 1939.
- SHARPE, W. F. **Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk.** Journal of Finance, v. 19, n. 3, p. 425–442, 1964.
- SHILLER, R. J.; BELTRATTI, A. **Stock prices and bond yields: can their comovements be explained in terms of present value models?** Journal of Monetary Economics, v. 30, n. 1, p. 25–46, 1992.
- SHLEIFER, A. **Inefficient Markets: An Introduction to Behavioral Finance.** Oxford: Oxford University Press, 2000.
- SILVA, L. F.; ALMEIDA, D. R. **A influência das variáveis macroeconômicas no desempenho das ações brasileiras: uma análise através de modelos VAR.** Revista de Administração Contemporânea, v. 22, n. 4, p. 567–588, 2018.
- SOARES, L.; PEREIRA, A.; FONSECA, L. **Macroeconomic determinants of stock prices in emerging markets.** Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, v. 70, p. 101–122, 2021.
- TOBIN, J. **A general equilibrium approach to monetary theory.** Journal of Money, Credit and Banking, v. 1, n. 1, p. 15–29, 1969.

ZIVOT, E.; ANDREWS, D. W. K. **Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis.** *Journal of Business and Economic Statistics*, v. 10, p. 251–270, 1992.