

**Rafael Toledano e João Pedro Salles Coelho da Veiga**

Análise histórica do retorno de operações estruturadas usando opções da  
Petrobras e Vale

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DA PUC-RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO

Orientador: André Barreira da Silva Rocha

Departamento de Engenharia Industrial  
Rio de Janeiro, 15 de dezembro de 2025.

## Resumo

O estudo tem como principal objetivo avaliar o retorno de operações estruturadas com opções de compra e venda sobre as ações PETR4 (Petrobras) e VALE3 (Vale), duas das principais empresas de *commodity* negociadas na B3, abrangendo o período de janeiro de 2023 até agosto de 2025. A pesquisa é inspirada na prática de fundos estrangeiros, cujo sucesso se baseia na hipótese de que a volatilidade implícita nas opções é sistematicamente superior à volatilidade histórica do ativo subjacente, ou seja, que as opções são vendidas a um preço acima do seu valor teórico justo calculado por modelos como Black-Scholes, resultando em um retorno esperado positivo ao vendedor (o "prêmio de volatilidade"). O estudo adapta as estratégias para o contexto do investidor brasileiro, utilizando ações individuais ao invés de índices (como o S&P500), dada a menor liquidez das opções sobre o índice IBOVESPA no mercado nacional, embora essa adaptação implique em maior volatilidade. As estratégias replicadas são: venda coberta de *call* ATM, venda coberta de *call* OTM (com *strike* 10% acima do preço atual) e venda colateralizada de *put* ATM, sendo essas operações simuladas com vencimento mensal, principalmente pela liquidez. A performance dessas operações será comparada ao retorno da taxa DI, que serve como custo de oportunidade para o investidor brasileiro e do IBOVESPA.

**Palavras-chave:** Opções, ações, operações estruturadas, taxa DI, B3.

## Abstract

The main objective of the study is to evaluate the return of structured option trades involving call and put options on PETR4 (Petrobras) and VALE3 (Vale) shares — two of the main commodity companies traded on the B3 (Brazilian Stock Exchange) — covering the period from January 2023 to June 2025. The research is inspired by the practice of foreign funds, whose success is based on the hypothesis that the Implied Volatility (IV) embedded in options is systematically higher than the Historical Volatility (HV) of the underlying asset. This suggests that the options are sold at a price above their theoretically fair value (calculated by models such as Black-Scholes), resulting in a positive expected return for the seller (the "volatility premium"). The study adapts the strategies to the context of the Brazilian investor, utilizing individual stocks instead of indexes (like the S&P500), given the low liquidity of IBOV index options in the domestic market, although this adaptation implies greater volatility. The replicated strategies are: ATM covered call (At-The-Money), OTM covered call (*Out-of-The-Money*, with a strike 10% above the current price), and ATM cash-secured put. All trades are simulated with a monthly expiration, because of the biggest liquidity. The performance of these trades will be compared to the return of the DI rate (the Brazilian risk-free rate), which serves as the opportunity cost for the Brazilian investor and to the return of IBOVESPA.

**Keywords:** Options, stocks, structured trades, DI rate, B3

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 OPÇÕES.....	4
2.2 PRECIFICAÇÃO DE UMA OPÇÃO .....	7
2.3 ESTRATÉGIAS .....	10
2.4 COMPARAÇÃO COM OUTROS MERCADOS .....	11
2.5 ÍNDICE DE SHARPE.....	14
<b>3 MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>15</b>
3.1 COLETA DE DADOS.....	15
3.2 ORGANIZAÇÃO DO MODELO E TRATAMENTO DOS DADOS.....	15
3.3 MONTAGEM DAS OPERAÇÕES.....	17
3.3.1 VENDA COBERTA DE <i>CALL</i> ATM.....	17
3.3.2 VENDA COBERTA DE <i>CALL</i> OTM.....	20
3.3.3 VENDA COLATERALIZADA DE <i>PUT</i> ATM.....	22
3.3.4 <i>COLLAR</i> BOX 3 PONTAS.....	26
3.4 CÁLCULO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA E HISTÓRICA.....	27
3.5 TESTE DE HIPÓTESE PARA EXCESSO DE RETORNO.....	29
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE.....</b>	<b>30</b>
4.1 <i>COLLAR</i> BOX 3 PONTAS E LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	30
4.2 RESULTADO DOS TESTES DE HIPÓTESE DE RENTABILIDADE.....	32
4.3 VENDA COBERTA DE <i>CALL</i> ATM.....	34
4.3.1 PETROBRAS.....	34
4.3.2 VALE.....	35
4.4 VENDA COBERTA DE <i>CALL</i> OTM.....	36
4.4.1 PETROBRAS.....	37
4.4.2 VALE.....	37
4.5 VENDA COLATERALIZADA DE <i>PUT</i> ATM.....	38
4.5.1 PETROBRAS.....	39

4.5.2 VALE.....	40
5 CONCLUSÃO .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	47

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1 – Árvore binomial de 2 passos.....</b>	<b>10</b>
--	-----------

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Evolução da estratégia de venda coberta de <i>call</i> ATM de Petrobras .....	19
TABELA 2 – Evolução da estratégia de venda coberta de <i>call</i> ATM de Vale .....	20
TABELA 3 – Evolução da estratégia de venda coberta de <i>call</i> OTM de Petrobras .....	21
TABELA 4 – Evolução da estratégia de venda coberta de <i>call</i> OTM de Vale .....	22
TABELA 5 – Evolução da estratégia de venda colateralizada ATM de Petrobras .....	25
TABELA 6 – Evolução da estratégia de venda colateralizada ATM de Vale .....	26
TABELA 7 – Resultado dos Testes de Hipótese 1.....	32
TABELA 8 – Resultado dos Testes de Hipótese 2.....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CPFs distintos que investem na bolsa .....	1
GRÁFICO 2 – Retorno anual do CDI .....	2
GRÁFICO 3 – Volume diário médio de ações à vista e opções negociado na B3.....	2
GRÁFICO 4 – Lucro/ prejuízo da venda de uma <i>call</i> europeia .....	5
GRÁFICO 5 – Lucro/ prejuízo da venda de uma <i>put</i> europeia .....	6
GRÁFICO 6 – Tradeoff do retorno ajustado risco.....	13
GRÁFICO 7 – Volatilidade Implícita e Histórica do SP500.....	27
GRÁFICO 8 – Resultado do collar box 3 sem ajuste de negociação mínima.....	30
GRÁFICO 9 – Resultado do collar box 3 ajustado .....	31
GRÁFICO 10 – Resultado da venda coberta ATM.....	34
GRÁFICO 11 - PETR4: Volatilidade Implícita para <i>call</i> ATM e Histórica.....	35
GRÁFICO 12 – VALE3: Volatilidade Implícita para <i>call</i> ATM e Histórica.....	36
GRÁFICO 13 – Resultado da venda coberta OTM.....	36
GRÁFICO 14 – PETR4: Volatilidade Implícita para <i>call</i> OTM e Histórica.....	37
GRÁFICO 15 – VALE3: Volatilidade Implícita para <i>call</i> OTM e Histórica.....	38
GRÁFICO 16 – Resultado da venda colateralizada ATM.....	39
GRÁFICO 17 – PETR4: Volatilidade Implícita para <i>put</i> ATM e Histórica.....	40
GRÁFICO 18 – VALE3: Volatilidade Implícita para <i>put</i> ATM e Histórica.....	41
GRÁFICO 19 – Número de investidores em ETF na B3.....	42
GRÁFICO 20 – Relação Risco-Retorno das Estratégias e Benchmark.....	43



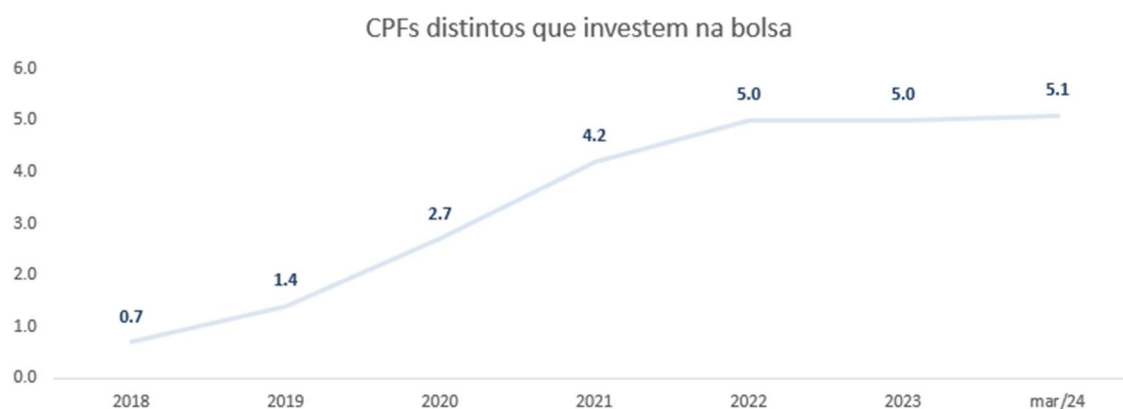
# 1 INTRODUÇÃO

O ambiente de juros extremamente baixos no país, como observado no Gráfico 2, principalmente em 2020 e 2021, impulsionou o número de CPFs distintos que investe na bolsa, como observado no Gráfico 1 e o volume negociado de ações e opções na B3, que atingiu o pico de R\$39bi em fevereiro de 2021 (B3, 2025), sendo que hoje, ele beira os R\$20bi, como é possível observar pelo Gráfico 3.

Dessa maneira, segundo os dados operacionais da própria B3, disponíveis em seu site de Relações com Investidores, as pessoas físicas chegaram a representar mais de 25% de todos os investidores da bolsa, ápice dos últimos 10 anos e quase o dobro do patamar atual de 13%.

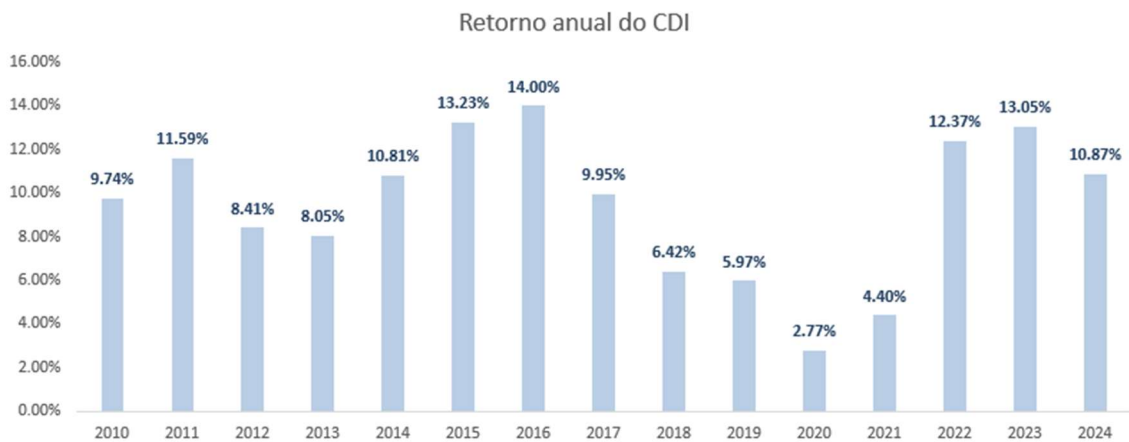
Esse período coincidiu com a pandemia, que catalisou a digitalização e o conteúdo educativo sobre finanças em redes como o Youtube e Instagram. Um bom exemplo desse fenômeno é o *Market Makers*, comunidade com quase 600 mil inscritos no *Youtube* que convida os maiores gestores, economistas e especialistas do mercado para decifrar os acontecimentos do Brasil e do mundo e mostrar como eles impactam decisões de investimento. Há ainda diversos canais específicos sobre opções, como “Mestre dos Derivativos”, “Prefiro Put”, “Everhedge”, “Jimmy Carvalho”, dentre outros.

**Gráfico 1** – CPFs distintos que investem na bolsa (milhões)



**Fonte** – Uma análise da evolução dos investidores na B3, 2024

**Gráfico 2 – Retorno anual do CDI**



Fonte – Banco Central do Brasil, 2025

**Gráfico 3 – Volume diário médio de ações à vista e opções negociado na B3**



Fonte – Banco de dados B3, 2025

Contudo, além desse conteúdo de qualidade, há também canais com conteúdo tecnicamente correto, porém controversos, no sentido de vender estratégias complexas de opções como se o retorno delas fosse garantido. Como exemplo, em um vídeo com dezenas de milhares de visualizações no *YouTube*, o título é “venda coberta de opções é só sucesso!”.

O objetivo específico deste trabalho surge da provocação de se tal argumentação é verdadeira e do baixo número de estudos para julgar se essas estratégias são vencedoras quando comparadas com o retorno livre de risco. Mais especificamente, queremos responder à pergunta: operações estruturadas, compostas apenas com 2 ativos, como venda coberta de *call* e venda colateralizada de put, usando opções com vencimento mensal, são capazes de estatisticamente obter retornos superiores ao CDI ou ao IBOVESPA?

Principalmente pela liquidez, as empresas escolhidas para o estudo foram Petrobras e Vale e cabe fazer um breve histórico sobre os principais fatores de influência na precificação de ativos relacionados a essas companhias.

Em 2023, a Petrobras se destacou com uma das maiores altas da Bolsa, impulsionada pela manutenção do preço do petróleo *Brent* em patamares elevados, dividendos altos e alívio quanto ao risco de intervenção estatal. Na ponta oposta, a Vale foi pressionada pela lenta recuperação da economia chinesa, especialmente no setor imobiliário e de infraestrutura, o que derrubou o preço do minério.

Em 2024, a Petrobras caiu de forma significativa devido à controvérsia sobre a distribuição de dividendos extraordinários e a Vale foi pressionada pela demora e politização no processo de sucessão de seu CEO, o que alimentou o temor de interferência política e minou a confiança do mercado em sua governança.

Em 2025, até o momento, a Vale demonstrou sinais de recuperação, sustentada pela expectativa de dividendos extraordinários e pela melhora na produção de minério de ferro e a Petrobras, por sua vez, enfrentou maior pressão, com as cotações sendo impactadas pela volatilidade do preço global do petróleo e, mais significativamente, pela reorientação estratégica da empresa, que prioriza agora um robusto plano de investimentos, em detrimento de menos dividendos.

Esse trabalho de pesquisa está organizado como segue. Este Capítulo 1 de Introdução apresenta o contexto e a relevância do tema abordado, as perguntas de pesquisa e os objetivos do estudo. O Capítulo 2 é dedicado ao Referencial Teórico, apresentando conceitos importantes e necessários para compreensão do tema e para o embasamento das análises dos resultados encontrados na pesquisa. No Capítulo 3, é detalhado o método de pesquisa adotado. No Capítulo 4, são apresentados os resultados e respectivas análises e por fim, no Capítulo 5, de Conclusão, demonstra-se como as perguntas de pesquisa foram respondidas e os objetivos atingidos e são resumidas as principais descobertas e sugestões de melhorias. Também são sugeridas propostas de pesquisas futuras relacionadas com esta pesquisa, mas que não faziam parte do seu escopo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo aborda a fundamentação teórica utilizada na pesquisa. São apresentados conteúdos relevantes, tais como uma base teórica de opções, incluindo precificação e estratégias envolvendo esse ativo.

### 2.1 Opções

Uma ação é um título, que representa a menor parcela do capital social de uma companhia de capital aberto ou fechado. Assim, ao adquirir uma ação, o investidor se torna acionista da empresa, passando a receber uma parcela dos lucros da empresa na forma de dividendos ou Juros Sobre Capital Próprio (JCP) e proporcional a sua participação.

Enquanto isso, opções são ativos que representam o direito de compra (*call*) ou de venda (*put*) de um outro ativo subjacente (S), que costuma ser a ação de uma empresa. Quando esse direito puder ser exercido até o vencimento, essa opção é americana e no caso de exercício somente no vencimento, ela é europeia, sendo que na bolsa brasileira, a B3, as *calls* podem ser americanas e europeias e as *puts*, serão sempre europeias.

Em geral, a nomenclatura de uma opção é composta pelo *ticker* do ativo subjacente seguido de uma letra que representa o mês de vencimento (A - janeiro - até L - dezembro - para *calls* e M - janeiro - até X - dezembro para *puts*) e de uma sequência numérica que identifica o preço pela qual a opção pode ser exercida, conhecido como *strike*.

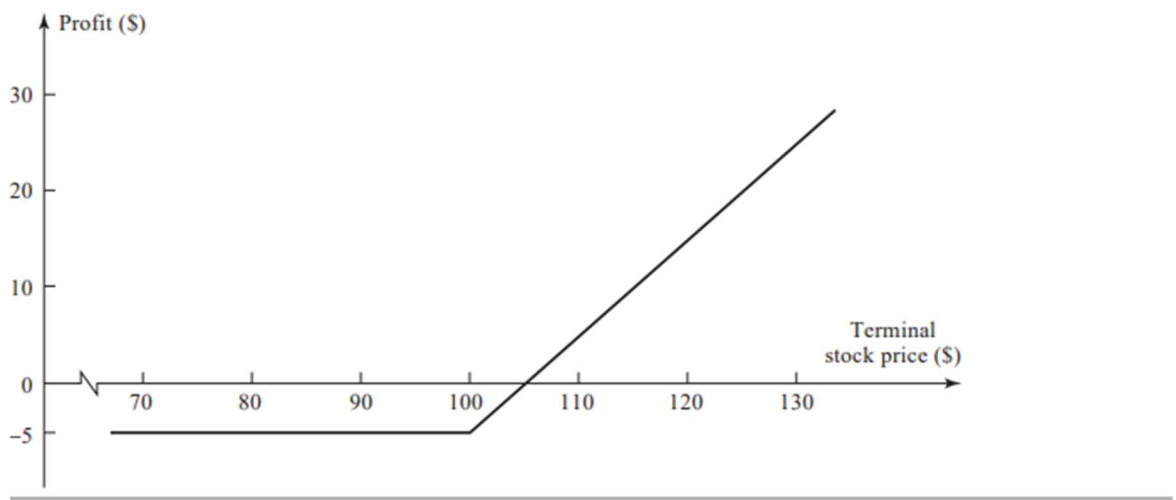
O comprador de uma *call* tem o direito de comprar um ativo até o vencimento a um preço K (*strike*), enquanto o vendedor (lançador) tem a obrigação, no caso de exercício, de vender o ativo ao comprador da *call* pelo preço K, podendo já ter comprado o ativo subjacente em  $t=0$  (venda coberta) ou precisando comprá-lo no vencimento (venda seca).

Considerando uma situação em que o investidor queira comprar *calls* europeias com um *strike* de \$100 para adquirir 100 ações de uma determinada companhia, que o preço atual da ação seja de \$98, a data de vencimento da opção seja daqui a 4 meses e o prêmio da opção para

comprar uma ação seja de \$5, o investimento inicial é de \$500 (\$5 por opção x 100 opções). Nesse caso, como a opção é europeia, o investidor só pode exercê-la na data de vencimento e se o preço da ação nesta data for inferior a \$100, não faz sentido que o investidor exerça a opção e ele perde todo o investimento inicial. É importante enfatizar que na B3, a relação opção por ação é de uma opção por uma ação, ou seja, uma opção confere o direito sobre uma ação. Há outros mercados mundiais onde a relação não é esta, por exemplo, mercados onde uma opção confere direito sobre cem ações.

Se o preço da ação estiver acima de \$100 na data de vencimento, \$115 por exemplo, a opção será exercida e o investidor comprará 100 ações por \$100 cada, obtendo um ganho bruto de \$1.500 no caso de venda a mercado e líquido de \$1.000, descontando o prêmio anteriormente pago para comprar as *calls*. O Gráfico 4 mostra o lucro/prejuízo dessa estratégia seguindo a variação do preço da ação.

**Gráfico 4** – Lucro na compra de *call* europeia



**Fonte** – HULL, John (1989)

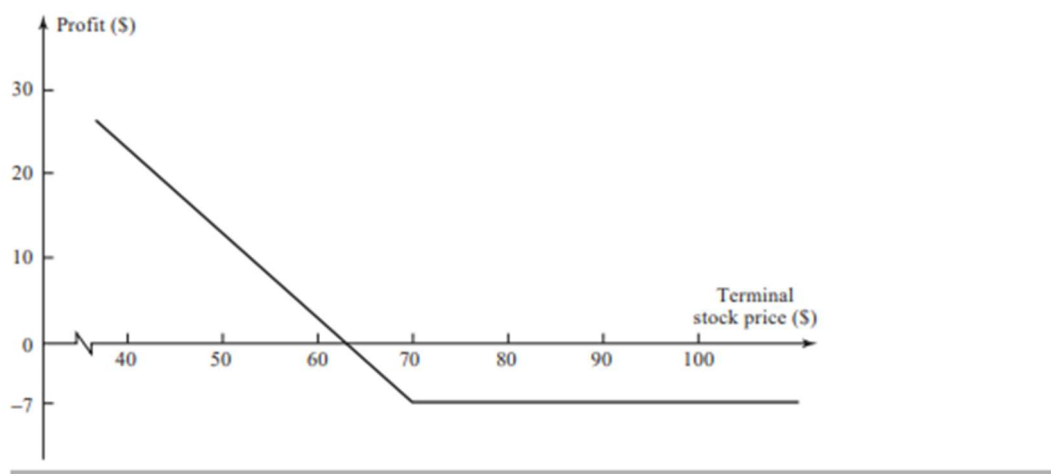
O comprador de uma *put* tem o direito de, no vencimento, comprar o ativo subjacente à opção no mercado e vendê-lo ao preço  $K$  para um agente que seja lançador desta mesma *put*, sendo que caso ele detenha o ativo subjacente, comprar a *put* funciona como um seguro para caso o preço da ação se desvalorize e fique abaixo do *strike*.

Lembrando que o lançador de *call* e de *put* tem sempre a obrigação e é necessário depositar margem de garantia na B3 (dinheiro, ações, títulos públicos, dentre outros ativos elegíveis), dado que ele recebe o prêmio, porém este é insuficiente para honrar o valor nominal da operação em caso de exercício.

Considerando um investidor que compra 100 opções de venda europeia com um preço de exercício de \$70 para vender 100 ações de uma determinada companhia, que o preço atual da ação seja de \$65, a data de vencimento da opção seja em 3 meses e o prêmio da opção para vender uma ação seja de \$7, o investimento inicial é de \$700 (\$7 por opção x 100 opções).

Nesse caso, como a opção é europeia, ela será exercida somente se o preço da ação estiver abaixo de \$70 na data de vencimento. Supondo que o preço da ação seja de \$55 nesta data, o investidor pode comprar 100 ações no mercado por \$55 por ação e vendê-las por \$70 ao lançador da opção, gerando um ganho bruto de \$1.500 e líquido de \$800. Se o preço final da ação for acima de \$70, a opção de venda expira sem valor, e o investidor perde os \$700 investidos inicialmente. O Gráfico 5 mostra o lucro/prejuízo dessa estratégia seguindo a variação do preço do ativo.

**Gráfico 5** – Lucro na compra de *put* europeia



**Fonte** – HULL, John (1989)

## 2.2 Precificação de uma opção

O prêmio de uma opção é negociado na B3 e é composto pelo valor intrínseco e valor extrínseco. O valor intrínseco representa o quanto se receberia no caso de exercício da opção naquele instante e ele é dado pelo máximo  $\{0, S - K\}$  nas *calls* e máximo  $\{0, K - S\}$  nas *puts*.

Admitindo uma *call* e uma *put* sobre o mesmo ativo subjacente e mesmos preço de exercício  $K$  e prazo de vencimento, se o preço do ativo subjacente disparar e  $S > K$ , o valor intrínseco da *call* será positivo (*call* dentro do dinheiro: ITM) e o da *put* será zero (*put* fora do dinheiro: OTM), assim, naquele instante, somente valerá a pena para o comprador da *call* exercer a opção. Caso  $S < K$ , teremos a situação oposta, a *call* estará OTM e a *put*, ITM, ou seja, somente o comprador da *put* exercerá a opção.

Se  $S = K$ , dizemos que a opção está na linha do dinheiro (*At The Money*: ATM) e esse é o ponto de máximo valor extrínseco, sendo que ele representa a incerteza e é diretamente proporcional à volatilidade, tempo até o vencimento e taxa DI. Como no vencimento, não há mais volatilidade, nem tempo para a opção ficar ITM, nesse momento, seu valor extrínseco é zero, ou seja, o prêmio das opções é simplesmente composto pelo seu valor intrínseco. Além disso, quanto mais longa a opção, há mais tempo para ela oscilar, ficar ITM e mais elevado deve ser seu prêmio (contrapartida é que o investidor fica mais tempo preso na operação).

A lógica da compra de *put* é equivalente à de vender uma ação via aluguel, ou seja, o investidor acredita que o *strike* é maior do que o valor da ação no vencimento, mas ela apresenta um potencial de perda maior, dado o risco de alavancagem.

De uma maneira geral, o prêmio de uma opção depende do preço do ativo subjacente ( $S$ ), da volatilidade do retorno do preço dele ( $\sigma$ ), do prazo para vencimento ( $T$ ) e da taxa de juros livre de risco ( $r$ ). Para medirmos a sensibilidade dos prêmios das opções face a variações nestes parâmetros, usamos as chamadas gregas das opções, que são derivadas primeiras parciais onde se mede a taxa de variação do prêmio da opção, dada uma variação infinitesimal no parâmetro de interesse, e mantendo-se os demais parâmetros fixos.

As gregas mais conhecidas são o delta, vega (apesar de não ser uma letra grega), teta e rô e elas medem a mudança no prêmio da opção devido a variações nos parâmetros  $S$ ,  $\sigma$ ,  $T$  e  $r$ , respectivamente. Há ainda efeitos de segunda ordem e efeitos cruzados, medidos por gregas como o gama, vomma, vanna e charm. Assim, a cada mudança de R\$1 no ativo subjacente ( $S$ ), o prêmio oscila R\$  $\Delta$ , variação que será sempre menor do que a oscilação no ativo subjacente, embora se aproxime bastante nas opções muito ITM. Além disso, a cada aumento de uma unidade infinitesimal na volatilidade, o prêmio sobe vega, no tempo até o vencimento, o prêmio sobe teta e na taxa DI, o prêmio sobe rô.

O Modelo de *Black-Scholes*, desenvolvido em 1973, calcula o valor teórico do prêmio de uma opção europeia, cujo ativo subjacente é uma ação, sendo que sua equação diferencial deve ser satisfeita pelo preço de qualquer derivativo que dependa de uma ação que não pague dividendos.

Dentre suas principais premissas, destaca-se que a taxa de juros livre de risco e a volatilidade são consideradas constantes até o vencimento da opção, que não há oportunidades de arbitragem e que mudanças percentuais no valor da ação em um período curto seguem uma distribuição normal. As principais equações resultantes do modelo estão abaixo, sendo  $c_t$  a precificação de uma *call* europeia e  $p_t$ , de uma *put* europeia.

$$\textbf{Equação 1: } c_t = S_t \times N(d_1) - K \times e^{-rT} N(d_2)$$

$$\textbf{Equação 2: } p_t = K \times e^{-rT} N(-d_2) - S_t \times N(-d_1)$$

$$\textbf{Equação 3: } d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right) \times T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$\textbf{Equação 4: } d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right) \times T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$



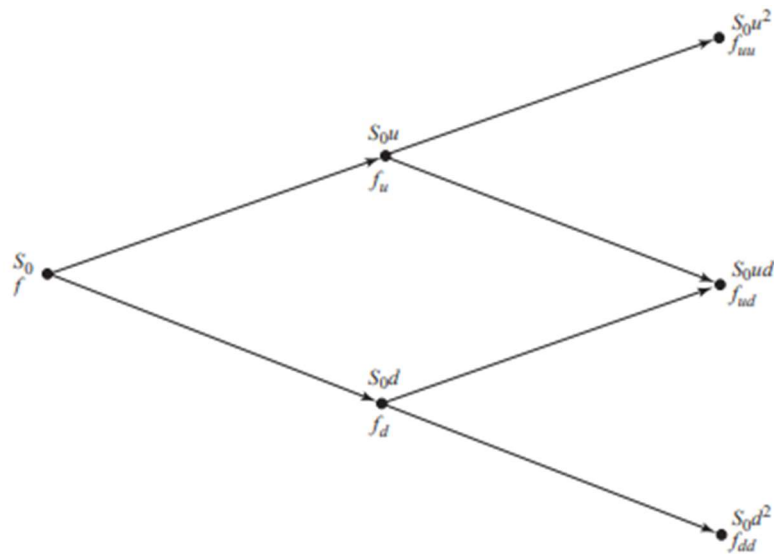
$$\begin{aligned}
S_t &= \text{Preço do ativo subjacente} \\
N(d_x) &= \text{Função de distribuição normal padrão acumulada} \\
K &= \text{Preço de exercício (strike) da opção} \\
r &= \text{Taxa de juros livre de risco} \\
\sigma &= \text{Volatilidade do retorno do preço da ação} \\
T &= \text{Tempo até o vencimento da opção}
\end{aligned}$$

Chamamos de taxa livre de risco o rendimento esperado simplesmente deixando o dinheiro investido em ativos de segurança elevada, no que tange ao risco de crédito e, sobretudo, ao risco de oscilação de taxa de juros sobre o preço do ativo. Um *benchmark* no mercado brasileiros são as letras financeiras do Tesouro Nacional (LFT), as quais acompanham diariamente a taxa de juros SELIC definida pelo Banco Central do Brasil e possuem um *spread* fixo quase desprezível para efeitos de marcação do preço à mercado.

Além disso, enquanto as volatilidades históricas são voltadas para o passado, as volatilidades implícitas focam no futuro e a lógica por trás de seu cálculo está em ser a volatilidade que quando usada na fórmula de *Black-Scholes*, resulta no prêmio vigente observado no mercado quando a opção negocia com liquidez e *spread* mínimo entre ofertas de compra e venda. Não é possível inverter essa equação para que ela seja expressa como uma função de  $S$ ,  $K$ ,  $r$ ,  $T$  e  $c$ , mas um procedimento de busca iterativo pode ser usado. O VIX é o índice de volatilidade implícita mais popular, abrangendo opções de 30 dias sobre o S&P 500.

Também é possível precificar opções via construção de uma árvore binomial, conforme observado na Figura 1, que representa diferentes caminhos possíveis a serem seguidos pelo preço da ação ao longo da vida de uma opção. A principal premissa subjacente a esse modelo é que o preço da ação segue um passeio aleatório e que em cada passo de tempo, ele tem uma probabilidade ( $p$ ) de subir  $u\%$  e uma probabilidade ( $1-p$ ) de cair  $d\%$ . Esse modelo é uma versão discreta do *Black-Scholes*, ou seja, considerando passos de tempo infinitesimais, ele converge para *Black-Scholes*.

**Figura 1** – Árvore binominal de 2 passos



**Fonte** – HULL, John (1989)

## 2.3 Estratégias

A venda coberta de *call*, venda colateralizada de *put* e *box* de 3 pontas (um caso específico de *collar* de opções em que a *put* e a *call* utilizadas sobre o ativo subjacente possuem os mesmos vencimentos e *strikes*) estão entre as operações mais comuns usando opções.

A venda coberta de *call* consiste na venda de uma opção de compra simultânea à posse de uma quantidade equivalente do ativo subjacente, mitigando o risco de perda ilimitada associado à venda de uma *call* a descoberto (ativo subjacente pode se valorizar infinitamente). Essa operação tem viés altista e o prêmio recebido atua como uma margem de segurança, amortecendo perdas.

Já a venda colateralizada de *put*, consiste na venda de uma opção de venda do ativo subjacente e na aplicação do prêmio recebido mais o preço de exercício em um instrumento financeiro que retorne a taxa livre de risco (taxa SELIC da LFT ou uma proxy da mesma, como a taxa DI dos certificados de depósito interbancários, CDI).

O *box* de 3 pontas pode ser visto como uma venda coberta de *call*, onde se adiciona um terceiro ativo, a *put*, de modo a travar a perda máxima caso o viés altista da estratégia não se

materialize. O objetivo é tentar bater o CDI, se protegendo de perdas por mudanças bruscas nos fundamentos do ativo subjacente, como interferências políticas em estatais como Petrobras e Banco do Brasil e até casos mais extremos como de recuperação judicial (Oi, Americanas e mais recentemente a Ambipar). Ele consiste em uma posição comprada no ativo subjacente, uma posição comprada na *put* ATM e uma posição vendida na *call* ATM de mesmo vencimento. Assim, a venda coberta da *call* permite financiar parte do prêmio da *put* e a *put* compõe o *hedge*.

## 2.4 Comparação com outros mercados

O objetivo do estudo de avaliar o retorno histórico de operações estruturadas com opções de compra e venda de ações das principais empresas (por valor de mercado) de *commodity* negociadas na bolsa de valores brasileira (B3) - Petrobras (PETR4) e Vale (VALE3) - no período de janeiro de 2023 até agosto de 2025, teve como inspiração os fundos de investimento estrangeiros, que funcionam como ETFs e buscam maximizar retornos realizando venda coberta de opções de compra de índice (como S&P500) ou venda colateralizada de opções de venda (também de índices).

A explicação para a possibilidade dessas operações oferecerem ganhos no longo prazo superiores à exposição ao ativo subjacente é de que a volatilidade implícita nos preços das opções é comumente superior à volatilidade histórica real calculada a partir das variações de retorno do ativo (Knupp, 2008). Assim, nesses casos, as opções seriam negociadas a um valor acima de seu valor justo pelo modelo de precificação mais aceito (*Black-Scholes*) e, portanto, sua venda traria um retorno esperado positivo.

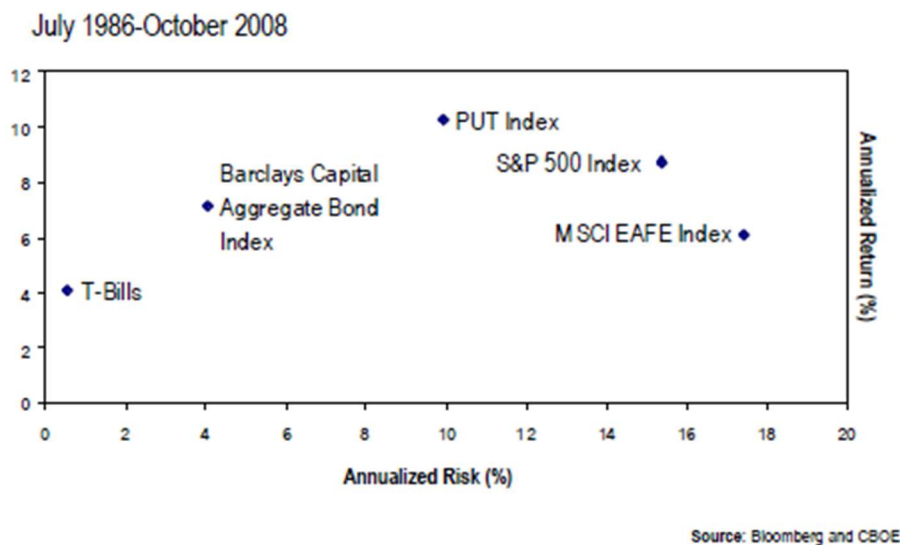
A CBOE (*Chicago Board Options Exchange*) é referência no desenvolvimento de ETFs que replicam estratégias de venda colateralizada de opções de índice, com objetivo de gerar renda adicional via coleta de prêmios. Esses fundos apresentam bastante liberdade na escolha do tempo até o vencimento e seleção do *strike*, sendo importante ressaltar que pequenas dispersões na implementação desses fatores (ex: concentrar as vendas em toda 3ª sexta-feira do mês vs fazer em sextas diferentes) podem provocar mudanças relevantes na performance e que sua oferta é limitada principalmente quanto à exposição geográfica (Berman, 2019).

Logo, esses fundos rolam a opção com vencimento em 1 mês e desejando que ela expire no pó para simplesmente vender a do mês seguinte, ficando com a soma dos prêmios e do resultado da colateralização. As movimentações de caixa via recebimento de prêmio, juros sobre o nocional e compra/venda do ativo subjacente saem da colateralização (títulos do tesouro).

O principal ETF de venda colateralizada de put (*CBOE S&P 500 PutWrite Index*) vende mensalmente *puts* sobre o S&P 500 com um *strike* próximo ao preço do ativo subjacente (ATM) e investe o dinheiro equivalente ao valor nocional do preço de exercício das opções vendidas em títulos do tesouro americano (Berman, 2019). Nos EUA, um contrato de opção normalmente representa um multiplicador do valor do índice e, logo, seu valor nocional seria calculado via multiplicação entre o *strike*, múltiplo do contrato e número de contratos. Essa estratégia tende a *underperformar* o ativo subjacente em mercados de alta, dado que o lucro é limitado à soma do prêmio recebido com os juros ganhos e a *outperformar* o ativo subjacente em mercados de queda ou com preços do ativo subjacente estacionários.

Como é possível visualizar no Gráfico 6, desde a sua introdução em 1986 até outubro de 2008, o índice em questão obteve retorno superior ao do S&P com volatilidade menor, o que foi possível dado que em mais da metade dos meses, o mercado obteve retorno residual (29%) ou queda forte (22%), sendo que nessa janela temporal, houve cisnes negros como o crash do *Black Monday*, de 1987, da bolha da internet e do mercado imobiliário de 2007/2008. O retorno anual médio nesse período de +10,3% pode ser decomposto em +19,8% da venda de puts, +4,2% dos títulos do tesouro e -13,7% do mercado de ações.

**Gráfico 6** – Tradeoff do retorno ajustado ao risco



Fonte – KNUPP, Ennis (2008)

Já o principal fundo de venda de *call* (*CBOE S&P 500 CallWrite Index*) mantém uma posição comprada no S&P 500 e vende mensalmente *calls* ATM sobre o índice, (Berman, 2019). A venda coberta de opções é usualmente feita na linha do dinheiro por ser o ponto de maior valor extrínseco, contudo, a maioria das estratégias de venda de *call* é gerida OTM (Berman, 2019), apresentando *benchmark* em ETFs como o *CBOE S&P 500 2% OTM BuyWrite Index* e visando aproveitar não só o ganho com o prêmio da *call* (que será menor nesse caso), mas também uma valorização do ativo subjacente em um momento de otimismo, ou seja, uma tentativa de obter maior participação na valorização. Essa estratégia também diminui a probabilidade do investidor, que pode buscar ter uma carteira de longo prazo desse ativo ou ter um preço médio baixo e ter que pagar imposto de renda, ser exercido (ou ter que recomprar as opções com prejuízo).

A B3 não negocia ETFs como os desenvolvidos pela CBOE e este estudo busca disseminar o debate sobre a criação de fundos que repliquem as operações citadas acima, de forma que os ativos envolvidos sejam brasileiros. Embora existam opções do IBOV (BOVA11), elas apresentam liquidez menor do que PETR4 e VALE3 e por esse motivo, optamos por replicar as estratégias mencionadas acima, mas ao contrário dos fundos estrangeiros, cujas operações são em sua maioria de índices, como o S&P500, este trabalho usa ações individuais (PETR4 e VALE3) como ativo subjacente.

Analisando o *trade-off* dessa mudança, um índice que replica o desempenho de múltiplas ações tende a ter uma volatilidade menor do que uma ação individual, já que o risco específico é praticamente anulado, especialmente em relação a uma ação de empresa de *commodity*, onde qualquer variação no preço ou na expectativa de preço da *commodity* gera um impacto muito significativo no valor da companhia. Assim, em teoria, o índice de ações possui risco menor do que ações individuais, eliminando inclusive o risco de perda permanente de valor como nos casos da Ambipar ou Lojas Americanas.

Porém, também é necessário considerar que como operamos vendidos, uma maior volatilidade representa potencial de receber prêmios maiores em Petro e Vale do que no índice. Além disso, o IBOV não obteve um retorno de longo prazo tão atrativo como o do mercado acionário americano, de forma que investidores brasileiros não são tão encorajados a comprar e segurar o índice de ações como no mercado americano e a possibilidade de escolher as ações corretas, apesar de exigir um conhecimento e assertividade maior, pode gerar mais retorno.

Dessa forma, as estratégias escolhidas foram de venda coberta de *call* ATM para PETR4 e VALE3, venda coberta de *call* OTM (*strike* 10% acima do preço atual) para PETR4 e VALE3, além de venda colateralizada de *put* ATM para PETR4 e VALE3. Todas essas operações são realizadas com um vencimento de um mês para frente, visto que as opções de vencimento mensal (terceira sexta-feira) apresentam maior liquidez e a estratégia de operar (montagem e desmontagem de posições) apenas uma vez no mês exige menor acompanhamento do que uma estratégia de operações estruturadas semanal, o que se encaixa melhor na rotina de um investidor pessoa física, que possui outras demandas. Por fim, a performance dessas estratégias será comparada com o retorno de uma aplicação na taxa livre de risco brasileira (DI), que representa o custo de oportunidade para o investidor brasileiro e ao IBOVESPA.

## 2.5 Índice de Sharpe

O Índice de Sharpe, é uma medida que permite avaliar o retorno de um ativo ou de uma carteira de investimentos em relação ao risco assumido, sendo uma forma de medir a rentabilidade ajustada pelo risco. O Índice de Sharpe é calculado pela fórmula (SHARPE, 1994, p. 50):

$$\text{Equação 5: } IS = \frac{R_i - R_f}{S_i}$$

Sendo:

$R_i$  = retorno médio do ativo

$R_f$  = retorno da taxa livre de risco

$S_i$  = desvio padrão do retorno do ativo

Essa métrica é amplamente utilizada para comparar diferentes ativos ou estratégias de investimento, permitindo avaliar qual ativo oferece o melhor retorno por unidade de risco.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

#### 3.1 Coleta de Dados

Para a realização desse estudo, foi necessário obter o histórico de preço das ações de PETR4 e VALE3 e de prêmios das opções de compra e venda desses ativos desde janeiro de 2023. Provedores pagos de informações como a *Bloomberg* fornecem apenas o histórico curto dos prêmios (aproximadamente um mês), dificultando a obtenção de todos os ativos negociados e assim, a coleta foi feita usando dados fornecidos pela própria B3.

A bolsa fornece em seu site uma base de dados com todos os ativos negociados por dia em determinado ano, incluindo: código de negociação; valores de preço: abertura, máximo, mínimo, médio, último, melhor oferta de compra e melhor oferta de venda; quantidade, volume negociado e preço de exercício, caso o ativo seja uma opção. Além disso, ela também disponibiliza os dias de vencimento de opções de compra e venda de ações e como os dados são públicos, o estudo pode ser replicado para todas as empresas negociadas na B3 a qualquer momento.

#### 3.2 Organização do Modelo e Tratamento dos Dados

O período de janeiro de 2023 até agosto de 2025 foi dividido em 31 meses, sendo que cada um começa no dia de vencimento de opções de ações e termina no dia de vencimento das opções seguintes. Dessa forma, por exemplo, o mês 1 de cada estratégia começa em 20/01/2023 (data

em que as opções da série mensal em janeiro de 2023 venceram) e seu fim em 17/02/2023 (data em que as opções da série mensal em fevereiro de 2023 venceram). Já o último mês na qual cada estratégia foi reproduzida (mês 31) começou em 18/07/2025 (data em que as opções da série mensal em julho de 2025 venceram) e terminou em 15/08/2025 (data em que as opções da série mensal em agosto de 2025 venceram).

Os dados da B3 foram organizados em uma planilha e filtrados de forma a separar apenas ativos (ações ou opções) relacionados com Petrobras e Vale pelos códigos de negociação que começam com “PETR” ou “VALE”.

A partir daí, para facilitar o trabalho, um segundo filtro foi aplicado para separar apenas os ativos (ações ou opções) negociados nos dias de início e fim dos meses determinados (já que são nesses períodos que ocorrem de fato a compra e venda de ativos). Todos os ativos com início “PETR” e “VALE” são listados, e são aplicados filtros adicionais para determinar: se é uma opção (pelo tamanho do código de negociação); se é uma semanal (apresenta W# ao fim do código de negociação); qual empresa (“VALE” ou “PETR”) e se é *call* ou *put* (pela letra de vencimento). Assim é possível listar separadamente os 4 conjuntos de opções desejadas negociadas ao longo de janeiro de 2023 até agosto de 2025: *call* de PETR4, *call* de VALE3, *put* de PETR4 e *put* de VALE3 (todas da série mensal com vencimento na terceira sexta-feira de cada mês).

Com esses ativos listados, foi possível determinar o strike de cada um deles (caso tenham vencimento no final do mês em questão) em cada dia de início de um mês (1, 2, ...,31) e comparar com o preço de VALE3 e PETR4 também nesses dias para determinar o código de negociação das *call* ATM, *put* ATM (menor diferença absoluta entre preço atual da ação e preço de exercício) e *call* 10% OTM (menor diferença absoluta entre preço atual da ação mais 10% e preço de exercício). Também foi feito um filtro adicional de valor do volume mínimo negociado (arbitrário) em R\$1.000.000,00 para eliminar opções negociadas em lotes pequenos e extremamente fora de seu valor justo.

A partir do código de negociação encontrado da *call/put* e da base de dados originais, foi determinado o último preço/prêmio (em linha com os preços usados para as ações) de negociação desse ativo naquele dia que são usados na reprodução das estratégias escolhidas. Essa é uma limitação implícita da base de dados pública da B3, dado que ela não está em uma



base horária, correndo o risco das opções e do ativo subjacente não terem negociado exatamente no mesmo instante a que se refere o último preço disponibilizado, além de nem sempre termos uma opção perfeitamente na linha do dinheiro. Entretanto, buscamos minimizar a chance desse problema ocorrer usando o último preço negociado tanto para a opção como para o ativo subjacente.

Cada classe de opção (*call* PETR4, *call* VALE3, *put* PETR4 e *put* VALE3) possui milhares de ativos diferentes (>4.000) e, assim, torna-se impraticável ilustrar o processo de determinação das opções descrito acima nesse documento.

### 3.3 Montagem das Operações

Os resultados encontrados de preço de exercício e preço de negociação (prêmio) das opções que melhor representam as *call* ATM, *put* ATM e *call* 10% OTM, como já explicadas, bem como os últimos preços de negociação dos ativos subjacentes foram utilizados como *input* para reproduzir as estratégias escolhidas de venda coberta de *call* ATM/OTM e venda colateralizada de *put* ATM tanto de PETR4 quanto de VALE3. A simulação das estratégias é feita na base de uma ação/opção, mas pode ser replicada para o mesmo retorno percentual para qualquer quantidade monetária desejada. A seguir, é explicado como é feita a montagem e calculado o retorno de cada estratégia e exemplificado para os dados coletados.

#### 3.3.1 Venda Coberta de *Call* ATM

No instante inicial do mês, é montada uma posição comprada no ativo subjacente pelo último preço negociado naquele dia ( $S_o$ ) e uma posição vendida na *call* ( $c_o$ ) mais próxima do dinheiro. Logo a fórmula para o valor de montagem/ valor investido ( $\pi_o$ ) inicialmente é:

$$\textbf{Equação 6: } \pi_o = S_o - c_o$$

No final do mês, o valor da carteira ( $\pi$ ) também é composto pelo último preço da ação no dia do final do mês ( $S$ ) e pelo valor intrínseco da *call* ( $c$ ), função do próprio preço da ação ( $S$ ) e do preço de exercício ( $K$ ):

$$\textbf{Equação 7: } \pi = S - c$$

Onde:

$$\textbf{Equação 8: } c = \text{máximo } \{0, S - K\}$$

O retorno (r) em termos absolutos é a diferença do valor da carteira no instante final do mês e do instante inicial, enquanto o retorno percentual pode ser calculado pela divisão do retorno (r) sobre o valor investido inicialmente ( $\pi_o$ ):

$$\textbf{Equação 9: Retorno (\%)} = \frac{\pi - \pi_o}{\pi_o}$$

Abaixo seguem tabelas que exemplificam a evolução da estratégia de venda coberta de *call* ATM nos 5 primeiros meses para PETR4 e VALE3, respectivamente.

Na Tabela 1, percebe-se que no dia 20/01/2023, é montada uma carteira de valor de R\$25,11 por ação/opção ( $\pi_o$ ), que corresponde aos R\$26,37 ( $S$ ) pagos na compra de PETR4 menos os R\$1,26 ( $c_o$ ) recebidos pela venda da *call* com *strike* de R\$26,26 ( $K$ ) e vencimento em 17/02/2023. No dia 17/02/2023, o preço de PETR4 passou para R\$26,44 e dessa forma, o prêmio da *call* vendida em 20/01/2023, passou a ser R\$0,18 (máximo (0, R\$26,44-R\$26,26), com vencimento ITM). Observa-se que a linha  $K$  *call* em vencimento, na Tabela 1, utilizada para calcular o valor intrínseco da *call* no vencimento e que no dia 17/02/2023 era de R\$26,26 é simplesmente a linha  $K$  *call* vendida deslocada uma célula à direita (já que cada *call* vendida vence exatamente um mês depois).

Portanto, o valor da carteira ( $\pi$ ) que foi montada em 20/01/2023 em 17/02/2023 era de R\$26,26, que pode ser entendido como a preço da ação, R\$26,44, menos o preço da *call*, R\$0,18 (nesse caso a *call* é recomprada a esse valor para zerar a posição e não ser exercido) ou como a ação sendo exercida a R\$26,26, nesse caso o investidor lançador da *call* coberta recebe em caixa esse valor e as posições em PETR4 e na *call* são zeradas. O retorno em R\$/ação nesse mês é, dessa forma, R\$1,15 (R\$26,26-R\$25,11), e retorno percentual é de 4,6% (R\$1,15/R\$25,11).

Ainda em 17/02/2023, uma nova posição ( $\pi_o$ ) é montada a R\$25,25: comprando PETR4 a R\$26,44 e vendendo a *call* com vencimento em 17/03/2023 a R\$1,19 a um *strike* de R\$26,51. No mês seguinte (17/03/2023), o preço de PETR4 passou para R\$23,51 e, portanto, o valor da *call* vendida em 17/02/2023, passou para R\$0,00 (*strike* de R\$26,51 > R\$23,51), opção vencendo OTM. Dessa forma, o investidor não é exercido e não necessita recomprar a *call*, de forma que o valor final da carteira ( $\pi$ ) é o próprio valor de PETR4, R\$23,51. O retorno de 17/02/2023 a 17/03/2023, foi, dessa forma, de -R\$1,74 (R\$23,51-R\$25,25) e o retorno percentual de -6,9% (-R\$1,74/R\$25,25).

**Tabela 1** – Evolução da estratégia de venda coberta de *call* ATM de Petrobras (em R\$)

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço PETR4</i>	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	1,26	1,19	1,19	1,11	0,93
$\pi_o = S - c_o$	25,11	25,25	22,32	25,58	24,99
<i>K da call vendida</i>	26,26	26,51	23,51	26,76	25,97
<i>K da call em vencimento</i>		26,26 ITM	26,51 OTM	23,51 ITM	26,76 OTM
$c = \text{máximo}(0, S - K)$		0,18	0,00	3,18	0,00
$\pi = S - c$		26,26	23,51	23,51	25,92
$r = \pi - \pi_o$		1,15	-1,74	1,19	0,34
<i>Retorno mensal (%) =</i> $\pi/\pi_o$		4,6%	-6,9%	5,3%	1,3%

**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

**Tabela 2** – Evolução da estratégia de venda coberta de *call* ATM de Vale (em R\$)

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço VALE3</i>	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	3,74	3,09	3,67	3,20	2,99
$\pi_o = S - c_o$	90,25	84,94	79,06	71,46	66,22
<i>K da call vendida</i>	93,91	88,16	82,97	74,58	69,16
<i>K da call em vencimento</i>		93,91 OTM	88,16 OTM	82,97 OTM	74,58 OTM
$c = \text{máximo}(0, S - K)$		0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi = S - c$		88,03	82,73	74,66	69,21
$r = \pi - \pi_o$		-2,22	-2,21	-4,40	-2,25
<i>Retorno mensal (%) =</i> $\pi/\pi_o$		-2,5%	-2,6%	-5,6%	-3,1%

**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

Observa-se que para a mesma estratégia de venda coberta de *call* ATM para VALE3, nos 5 primeiros meses, a *call* vendida venceu fora do dinheiro no mês seguinte, devido às consecutivas desvalorizações de VALE3. Assim, o investidor não foi exercido, nem teve que recomprar as *calls* no mês seguinte, de forma que o valor final da carteira em cada mês ( $\pi$ ) é o próprio preço de VALE3.

### 3.3.2 Venda Coberta de *Call* OTM

A mecânica e fórmulas da operação de venda coberta de *call* OTM são as mesmas que na venda coberta de *call* ATM. O único elemento que muda é a escolha de qual *call* vender em função do *strike*, como já explicado na seção anterior. Assim, não é necessário repetir as fórmulas de montagem da carteira e retorno de venda coberta de *call*. Abaixo seguem tabelas

que exemplificam a evolução da estratégia de venda coberta de *call* OTM para PETR4 e VALE3, respectivamente:

**Tabela 3** – Evolução da estratégia de venda coberta de *call* OTM de Petrobras (em R\$)

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço PETR4</i>	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	0,34	0,31	0,42	0,29	0,16
$\pi_o = S - c_o$	26,03	26,13	23,09	26,40	25,76
<i>K da call vendida</i>	29,01	29,01	25,76	29,26	28,47
<i>K da call em vencimento</i>		29,01 OTM	29,01 OTM	25,76 ITM	29,26 OTM
$c = \text{máximo}(0, S - K)$		0,00	0,00	0,93	0,00
$\pi = S - c$		26,44	23,51	25,76	25,92
$r = \pi - \pi_o$		0,41	-2,62	2,67	-0,48
<i>Retorno mensal (%) =</i> $\pi/\pi_o$		1,6%	-10,0%	11,6%	-1,8%

**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

**Tabela 4** – Evolução da estratégia de venda coberta de *call* OTM de Vale (em R\$)

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço VALE3</i>	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	0,66	0,44	0,78	0,68	0,56
<i><math>\pi_o = S - c_o</math></i>	93,33	87,59	81,95	73,98	68,65
<i>K da call vendida</i>	103,41	96,66	90,97	82,08	76,16
<i>K da call em vencimento</i>		103,41 OTM	96,66 OTM	90,97 OTM	82,08 OTM
<i>c = máximo (0, S – K)</i>		0,00	0,00	0,00	0,00
<i><math>\pi = S - c</math></i>		88,03	82,73	74,66	69,21
<i><math>r = \pi - \pi_o</math></i>		-5,30	-4,86	-7,29	-4,77
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		-5,7%	-5,5%	-8,9%	-6,4%

**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

### 3.3.3 Venda Colateralizada de *Put* ATM

Assim como a venda coberta de *call*, a venda colateralizada de *put* é uma operação que aposta na alta do ativo subjacente, já que a manutenção ou valorização dele torna o prêmio da *put* vendida igual a 0 no vencimento. Ela consiste na venda de uma opção de venda do ativo subjacente e a aplicação do prêmio recebido mais o valor nocional equivalente ao preço de exercício em um instrumento financeiro que retorne a taxa livre de risco (DI). A decisão pela venda da opção ATM segue a mesma lógica que a venda de *call*: obter o maior valor extrínseco na venda. Dessa forma o valor inicial/montagem da carteira ( $\pi_o$ ) é função exclusivamente do

preço de exercício ( $K$ ), já que parte da posição comprada em taxa livre de risco ( $VDI_0$ ) é financiada pelo próprio prêmio inicial da put ( $p_o$ ):

$$\textbf{Equação 10: } \pi_o = VDI_0 - p_o$$

$$\textbf{Equação 11: } VDI_0 = K + p_o$$

$$\textbf{Equação 12: } \pi_o = K$$

No final do mês, o valor da carteira ( $\pi$ ) é composto pelo valor aplicado na taxa livre de risco ( $VDI$ ), que é o próprio valor inicial aplicado em taxa livre de risco ( $VDI_0$ ) capitalizado por essa taxa do período ( $rf$ ), menos o valor intrínseco da put ( $p$ ), que depende do final do preço do ativo subjacente ( $S$ ) e o preço de exercício ( $K$ ):

$$\textbf{Equação 13: } \pi = VDI - p$$

Onde:

$$\textbf{Equação 14: } VDI = VDI_0 \times (1 + rf)$$

$$\textbf{Equação 15: } p = \text{máximo} \{0, K - S\}$$

A lógica de retorno e retorno percentual, em função dos valores finais e iniciais da carteira, dessa operação é calculada da mesma forma que a venda coberta. Abaixo seguem tabelas que exemplificam a evolução da estratégia de venda colateralizada de put ATM para PETR4 e VALE3, respectivamente.

Na Tabela 5, observa-se que em 20/01/2023 é montada uma carteira no valor de ( $\pi_o$ ) R\$26,26, equivalente ao *strike* da put vendida ( $p_o$ ) a R\$0,96 e o valor investido na taxa livre de risco ( $VDI_0$ ) é o valor inicial da carteira acrescido do prêmio da put, totalizando R\$27,22.

A taxa livre de risco, DI, entre 20/01/2023 e 17/02/2023, rendeu 0,9% (linha  $rf$  da Tabela 5), de modo que o valor final investido na taxa livre de risco em 17/2/2023 (capital inicial mais juros) foi de R\$27,47 [ R\$27,22  $\times$  (1 + 0,9%) ]. Já o valor da put vendida no mês anterior será função do preço de PETR4 em 17/02/2023 (R\$26,44) e do *strike* R\$26,26. Além disso, cumpre destacar que a linha  $K$  put em vencimento é a linha  $\pi_o = K$  da put vendida deslocada uma célula para direita. Nesse caso, como o preço da ação foi maior que o *strike* em

vencimento, o prêmio da *put* é R\$0,00, de forma que o investidor não foi exercido nem teve que recomprar a *put*, e o valor da carteira é o próprio valor final investido à taxa livre de risco.

Ainda em 17/02/2023, uma nova posição com *strike* R\$26,51 é montada. No mês seguinte (17/03/2023), com a desvalorização de PETR4 para R\$23,51, o prêmio da *put* é de R\$3,00 (diferença entre *strike* e preço da ação), de forma que o investidor necessita recomprar a *put* a esse valor, enquanto possui o montante de R\$27,83 investido em DI (resultado do *strike* mais o prêmio inicial de R\$1,00 capitalizados a 1,2%), gerando um valor final da carteira nesse mês de R\$24,83 [ R\$27,83 – R\$3,00 ].

Observando as Tabelas 5 e 6, os preços de PETR4 e VALE3, bem como os *strikes* das opções são idênticos aos das Tabelas 1 e 2, uma vez que estamos lidando com os mesmos ativos subjacentes e opções ATM com as mesmas datas de vencimento. A diferença em relação àquelas Tabelas está no fato de que quando a *call* vence ITM (resp. OTM), a *put* vence OTM (resp. ITM).



**Tabela 5** – Evolução da estratégia de venda colateralizada de *put* ATM de Petrobras

Data	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
$S$ : preço PETR4	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
$p_o$ (venda da put)	0,96	1,00	1,03	0,98	0,91
$\pi_o = K$ da put vendida	26,26	26,51	23,51	26,76	25,97
$K$ da put em vencimento		26,26 OTM	26,51 ITM	23,51 OTM	26,76 ITM
$VDI_o = \pi_o + p_o$	27,22	27,51	24,54	27,74	26,88
$rf$		0,9%	1,2%	0,9%	1,1%
$VDI = (1 + rf) \times VDI_o$ (anterior)		27,47	27,83	24,77	28,05
$p = \text{máximo}(0, K \text{ em venc.} - S)$		0,00	3,00	0,00	0,84
$\pi = VDI - p$		27,47	24,83	24,77	27,21
$r = \pi - \pi_o$		1,21	-1,68	1,26	0,45
Retorno mensal (%) = $\pi/\pi_o$		4,6%	-6,3%	5,3%	1,7%

Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

**Tabela 6** – Evolução da estratégia de venda colateralizada de *put* ATM de Vale

Data	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
$S$ : preço VALE3	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
$p_o$ (venda da put)	2,57	2,55	2,41	2,51	2,15
$\pi_o = K$ da put vendida	93,91	88,16	82,97	74,58	69,16
$K$ da put em vencimento		93,91 ITM	88,16 ITM	82,97 ITM	74,58 ITM
$VDI_o = \pi_o + p_o$	96,48	90,71	85,38	77,09	71,31
$rf$		0,9%	1,2%	0,9%	1,1%
$VDI = (1 + rf) \times VDI_o$ (anterior)		97,37	91,78	86,16	77,96
$p = \text{máximo}(0, K \text{ em venc.} - S)$		5,88	5,43	8,31	5,37
$\pi = VDI - p$		91,49	86,35	77,85	72,59
$r = \pi - \pi_o$		-2,42	-1,81	-5,12	-1,99
Retorno mensal (%) = $\pi/\pi_o$		-2,6%	-2,1%	-6,2%	-2,7%

Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

### 3.3.4 Collar box 3 pontas

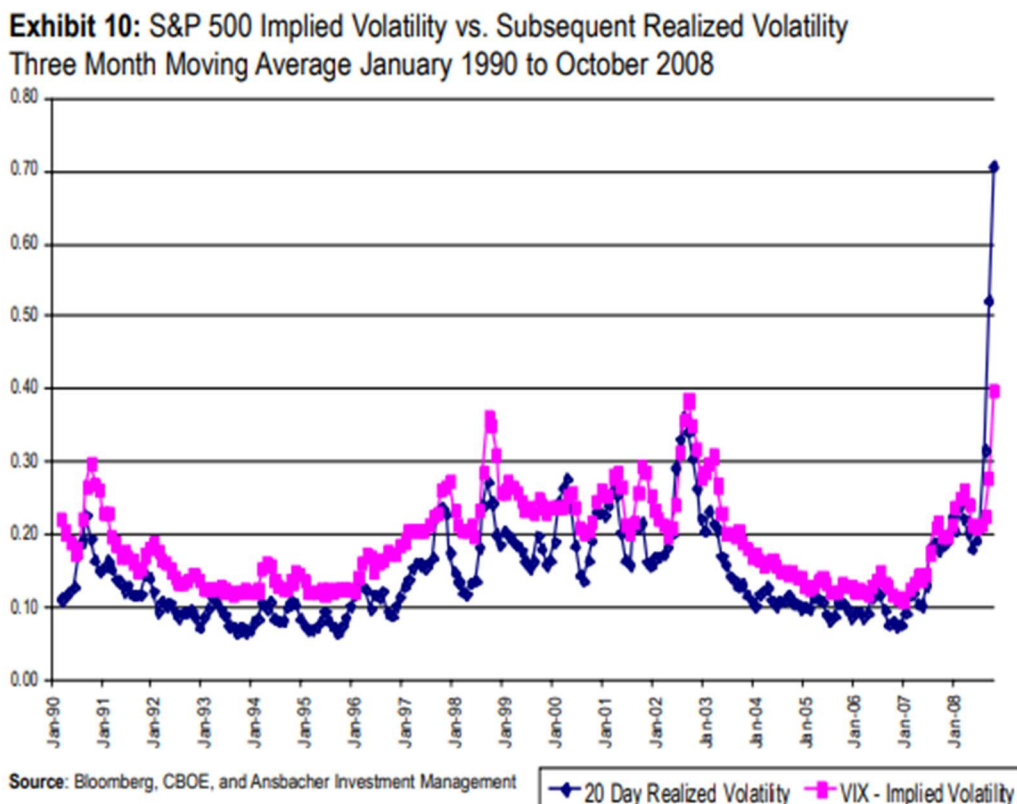
Por último, tem-se a operação de *collar* box de 3 pontas, que não entra nesse estudo como uma das estratégias de potencial retorno acima da taxa livre de risco para o investidor, mas sim como uma comparação com a taxa DI do período justamente para testar a acurácia dos dados da B3 e exibir possíveis limitações deste estudo que serão exploradas na análise de resultados. Ela consiste numa posição comprada no ativo subjacente, uma posição comprada na *put* ATM e numa posição vendida na *call* ATM de mesmo vencimento e mesmo preço de exercício. O valor final da carteira é sempre o preço de exercício para qualquer preço do ativo subjacente no vencimento, ou seja, salvo a hipótese remota das opções vencerem ATM, o investidor é

exercido em uma das opções, enquanto a outra vence OTM. Como o valor investido e final são fixos, por definição e por não arbitragem, o retorno travado teórico deve ser igual à taxa DI, caso fosse maior todos iriam se financiar para comprar essa operação e vice-versa.

### 3.4 Cálculo da Volatilidade Implícita e Histórica

Uma das variáveis mais importantes dentro do modelo de precificação de opções do *Black-Scholes* é a volatilidade implícita do retorno do ativo subjacente, já que a volatilidade (desvio em relação à média de retorno), impacta diretamente a probabilidade de o preço ultrapassar (ou retroceder) o preço de exercício. Contudo, tomando o preço/prêmio das opções negociadas historicamente tanto no mercado nacional quanto internacional, a volatilidade implícita, que satisfaz o modelo de precificação, difere e normalmente é superior à volatilidade histórica, isto é, desvio efetivamente calculado do retorno do ativo subjacente. Essa relação é ilustrada no Gráfico 7, que compara a volatilidade implícita e histórica do S&P500:

**Gráfico 7 – Volatilidade Implícita e Histórica do SP500**



Fonte – Knupp,2008

Dessa forma, nesse estudo, calculamos a volatilidade implícita e histórica das opções utilizadas nas operações selecionadas para verificar se, de fato, no contexto de PETR4 e VALE3 no período de 2023 a agosto de 2025, essa máxima foi verdadeira e se isso pode explicar os resultados obtidos.

A volatilidade implícita de cada opção foi determinada variando seu valor, de forma automatizada pela planilha, até que o preço (prêmio) calculado da opção se igualasse ao preço efetivamente realizado das opções fornecido pela B3. As demais variáveis para se calcular o prêmio da opção são o próprio preço do ativo subjacente, que é fornecido pela B3 e já se tem definido, a taxa livre de risco anualizada, o preço de exercício e o tempo restante em dias úteis que foi calculado na planilha em função da diferença de datas do calendário de vencimentos fornecido pela B3. A fórmula de *Black-Scholes* utilizada para o cálculo do prêmio das opções é descrita no Referencial Teórico.

A volatilidade histórica também foi calculada via elaboração própria para que a volatilidade implícita possa ser devidamente comparada. Foram utilizados os dados históricos diários da B3 de último preço de PETR4 e VALE3 de 02/01/2023 até 29/08/2025, previamente mencionados. Também foram considerados os proventos pagos para detentores de PETR4 e VALE3 nesse período com base em dados coletados nos sites de Relação com Investidores da Petrobras e Vale, respectivamente. O retorno logarítmico diário é calculado pela seguinte forma, no qual o valor de proventos inclui dividendos e juros sobre capital (data-ex):

$$\textbf{Equação 16: Retorno Logarítmico} = \frac{\ln(\text{preço fechamento} + \text{proventos})}{\text{Preço fechamento dia anterior}}$$

A volatilidade histórica ( $\sigma$ ) é, finalmente, determinada calculando o desvio anualizado dos retornos logarítmicos nos últimos 21 dias úteis. Foi utilizado esse intervalo dos últimos 21 dias úteis, em linha (próximo) com 20 dias úteis (Knupp,2008) e como foram simuladas operações com vencimento de um mês (21 dias úteis, que equivale a 252 dias úteis do ano financeiro no Brasil) à frente, essa volatilidade histórica calculada foi julgada como melhor *proxy* do que realmente deveria ser a volatilidade até o dia do vencimento.

$$\textbf{Equação 17: } \sigma = \sqrt{(252 \times \text{var}(\text{retorno logarítmico}))}$$

$var(\text{retorno logarítmico})$  = variância das últimas 21 observações de retornos logarítmicos diários.

### 3.5 Teste de Hipótese para excesso de retorno

As rentabilidades mensais das estratégias foram comparadas com a rentabilidade do DI e para isso, foi realizado um teste de diferença das médias de duas populações, com as seguintes características: distribuições e variâncias desconhecidas, amostras independentes e populações suficientemente grandes ( $> 30$ ). Para cada um dos testes (um para cada estratégia), sendo  $r_e$  o retorno da estratégia e  $r_{DI}$  o retorno da taxa DI, definiu-se o seguinte par de hipóteses (MCCLAVE; P GEORGE BENSON; SINCICH, 2014):

$$\textbf{Equação 18: } H_0: r_e - r_{DI} = 0$$

$$\textbf{Equação 19: } H_1: r_e - r_{DI} > 0$$

Visto que se deseja verificar se cada estratégia estruturada apresenta rentabilidade superior à taxa DI, fez-se um teste uni caudal, em que  $H_0$  deve ser rejeitada, caso:

$$\textbf{Equação 20: } Z = \frac{\bar{x} - \bar{y} - D_0}{\sqrt{\frac{S_x^2}{N_x} + \frac{S_y^2}{N_y}}}$$

Sendo:

$\bar{x}$  = média das rentabilidades de determinada estratégia estruturada

$\bar{y}$  = média das rentabilidades da taxa DI

$D_0$  = valor que se deseja verificar a diferença entre as médias. Nesse caso,  $D_0 = 0$

$S_x$  = estimador da variância de rentabilidade de determinada estratégia

$S_y$  = estimador da variância de rentabilidade da taxa DI

$N_x$  = tamanho da amostra de rentabilidade mensal da estratégia estruturada (31)

$N_y$  = tamanho da amostra de rentabilidade mensal da taxa DI (31)

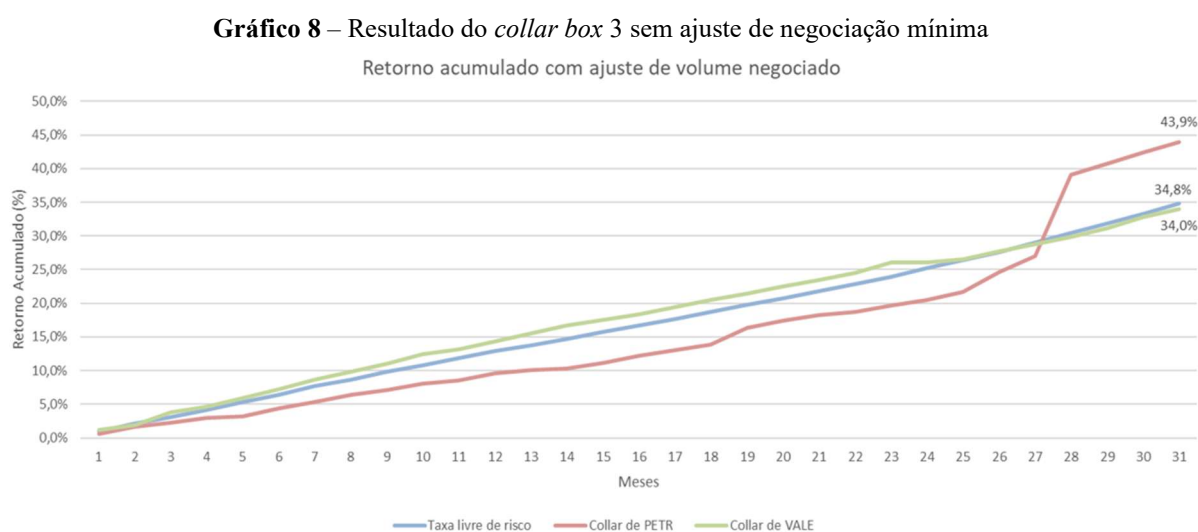
Um segundo teste de hipótese de mesma natureza foi realizado para verificar se a rentabilidade de cada estratégia é superior à do IBOV. Nesse caso as variáveis são iguais às

anteriores ( $\bar{x}$  e  $S_x$  são a rentabilidade média e desvio, respectivamente, de cada estratégia) com exceção que  $\bar{y}$  e  $S_y$  são a rentabilidade média e o desvio do IBOV nesse mesmo período (no lugar da taxa DI).

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 Collar Box 3 Pontas e Limitações do Trabalho

Antes de analisar a performance das operações de venda coberta de *call* e venda colateralizada de *put* é necessário, como explicado anteriormente, comparar o *box* de 3 pontas simulado com a taxa DI do mesmo período. O retorno dessas duas aplicações deveria ser igual, e as diferenças encontradas exibem justamente a limitação dos dados disponíveis. Primeiramente, foi realizado a simulação do *box* de 3 pontas sem o ajuste de volume mínimo negociado, que gerou o resultado observado no Gráfico 8.

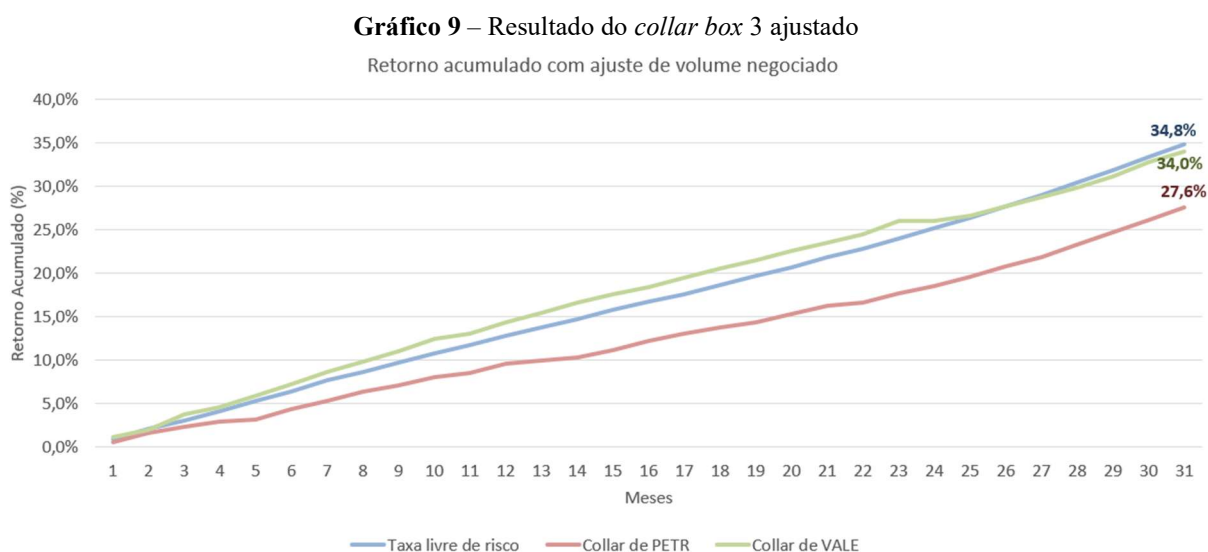


**Fonte –** Elaboração Própria (dados da B3)

Verifica-se que o *box* de 3 pontas com VALE3 gerou retornos bem próximos, porém não iguais à taxa DI, como era esperado. Essa diferença pequena no % de VALE3 pode se dever simplesmente ao *spread* de compra/venda do *book* que já lidamos com 3 pernas executadas na montagem do *collar*. Já para PETR4, o retorno em alguns meses ficou mais distante do retorno da taxa DI e teve *spikes* de retorno em alguns meses. A razão desse distúrbio seria a inclusão

de venda de opções que tiveram negociações mínimas, como de um lote (100 unidades), e com valor muito fora do justo.

Aplicando o filtro de negociação mínima, que também é usado nas demais operações, essas grandes variações são corrigidas e chega-se no resultado observado no Gráfico 9 para o *box* de 3 pontas.



**Fonte –** Elaboração Própria (dados da B3)

Observa-se que os retornos não batem exatamente com a taxa DI (pelas limitações técnicas do trabalho, não deveria bater mesmo, embora tenhamos nos certificado de que o último preço estava entre a *last buy order* e a *last sell order*), principalmente no caso do *collar* com PETR4, o que se justifica, pois o momento exato de última negociação do ativo subjacente não necessariamente é o mesmo da opção e o *strike* mais próximo da linha do dinheiro da *call* ou *put* não necessariamente são iguais entre eles e ao preço do ativo subjacente. Esses dois fatores, que causam essa diferença entre o retorno do *collar box* 3 pontas e o retorno livre de risco também estão presentes como limitação na simulação de operações de venda coberta de *call* e venda colateralizada de *put* que serão analisados em seguida, visto que essas estratégias também dependem da concomitância da execução das ordens e venda das opções com *strikes* nem sempre disponíveis.

## 4.2 Resultado dos Testes de Hipótese de Rentabilidade

Como mencionado anteriormente, foram realizados testes de hipótese para verificar se cada estratégia é capaz de estatisticamente apresentar uma rentabilidade superior à taxa livre de risco (DI). A Tabela 7 apresenta o resultado desses testes para o nível de significância  $\alpha = 0,1$ :

**Tabela 7** – Resultado dos Testes de Hipótese 1

	Média de rentabilidade	Desvio Padrão	Z	Z(alfa)	Z>Z(alfa)?	Rejeita $H_0$ ?
DI	1,0%	0,1%				
Venda coberta ATM PETR4	1,0%	4,8%	0,08	1,28	Não	Não
Venda coberta ATM VALE3	-0,6%	4,2%	-2,01	1,28	Não	Não
Venda coberta OTM PETR4	1,3%	2,0%	0,93	1,28	Não	Não
Venda coberta OTM VALE3	-1,5%	6,6%	-2,05	1,28	Não	Não
Venda colateralizada ATM PETR4	1,1%	4,6%	0,19	1,28	Não	Não
Venda colateralizada ATM VALE3	-0,5%	4,2%	-1,93	1,28	Não	Não

Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

Conforme exibido na Tabela 7, para nenhuma dessas estratégias rejeitou-se a hipótese nula. Dessa forma, nenhuma estratégia se provou capaz de estatisticamente superar a taxa livre de risco em rentabilidade. A Tabela 8, a seguir, exhibe o resultado do segundo teste de hipótese com nível de significância  $\alpha = 0,1$  realizado para verificar se alguma estratégia foi capaz de apresentar uma rentabilidade estatisticamente superior ao IBOV nesse período.



**Tabela 8** – Resultado dos Testes de Hipótese 2

	Média de rentabilidade	Desvio Padrão	Z	Z(alfa)	Z>Z(alfa)?	Rejeita $H_0$ ?
IBOV	0,7%	4,2%				
Venda coberta ATM PETR4	1,0%	4,8%	0,28	1,28	Não	Não
Venda coberta ATM VALE3	-0,6%	4,2%	-1,19	1,28	Não	Não
Venda coberta OTM PETR4	1,3%	2,0%	0,70	1,28	Não	Não
Venda coberta OTM VALE3	-1,5%	6,6%	-1,55	1,28	Não	Não
Venda colateralizada ATM PETR4	1,1%	4,6%	0,36	1,28	Não	Não
Venda colateralizada ATM VALE3	-0,5%	4,2%	-1,13	1,28	Não	Não

Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

Assim como o teste contra a taxa DI, não é possível afirmar, segundo esse teste de hipótese, que a rentabilidade de alguma estratégia é estatisticamente superior à rentabilidade do IBOV nesse período.

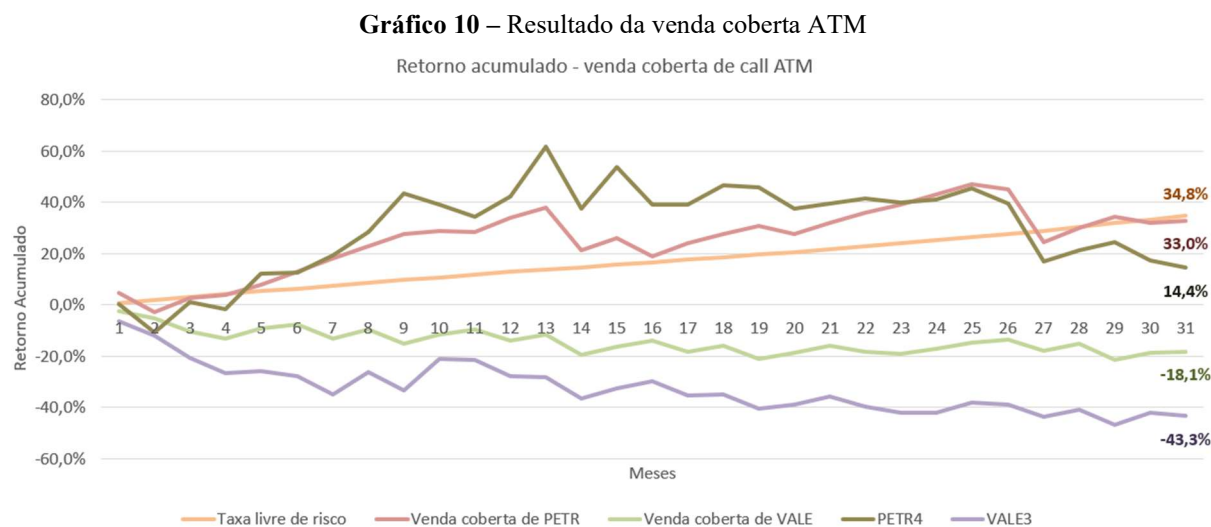
Contudo, é possível verificar que as estratégias de venda coberta de call ATM de PETR4, venda coberta OTM de PETR4 e venda colateralizada de put ATM de PETR4 apresentaram rentabilidade média acima do IBOV. Dentre elas, apenas a estratégia de venda coberta OTM de PETR4 exibiu desvio padrão dos retornos inferior ao do IBOV. Ainda assim, em todos os testes de hipótese, a estatística do teste Z foi impactada negativamente pelo elevado desvio padrão do retorno do IBOV (4,2% ao mês).

Uma outra forma de comparar a performance das estratégias envolvendo PETR4 e opções de PETR4 (estratégias com VALE3 tiveram retorno negativo) é comparar o retorno dessas estratégias e do IBOV por unidade de risco (volatilidade), que é expresso pelo Índice de Sharpe, conforme descrito no referencial teórico (Equação 5).

Nesse caso, assumindo o retorno livre de risco normalizado para 0%, de modo a medir simplesmente o retorno absoluto por unidade de risco, o Índice de Sharpe para o IBOV é de  $0,7\% \div 4,2\% = 0,167$ , enquanto para as estratégias envolvendo PETR4 tem-se:  $1\% \div 4,8\% = 0,208$ ;  $1,3\% \div 2,0\% = 0,650$ ;  $1,1\% \div 4,6\% = 0,239$ , para venda coberta ATM, venda coberta OTM e venda colateralizada, respectivamente. Assim, sob a ótica do Índice de Sharpe, como esse índice é superior para as estratégias com PETR4 em relação ao IBOV, é possível afirmar que essas estratégias oferecem uma melhor relação risco-retorno que o IBOV.

### 4.3 Venda Coberta de *Call* ATM

O Gráfico 10 mostra o resultado acumulado por meses de operação da estratégia de venda coberta de *call* ATM.



Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

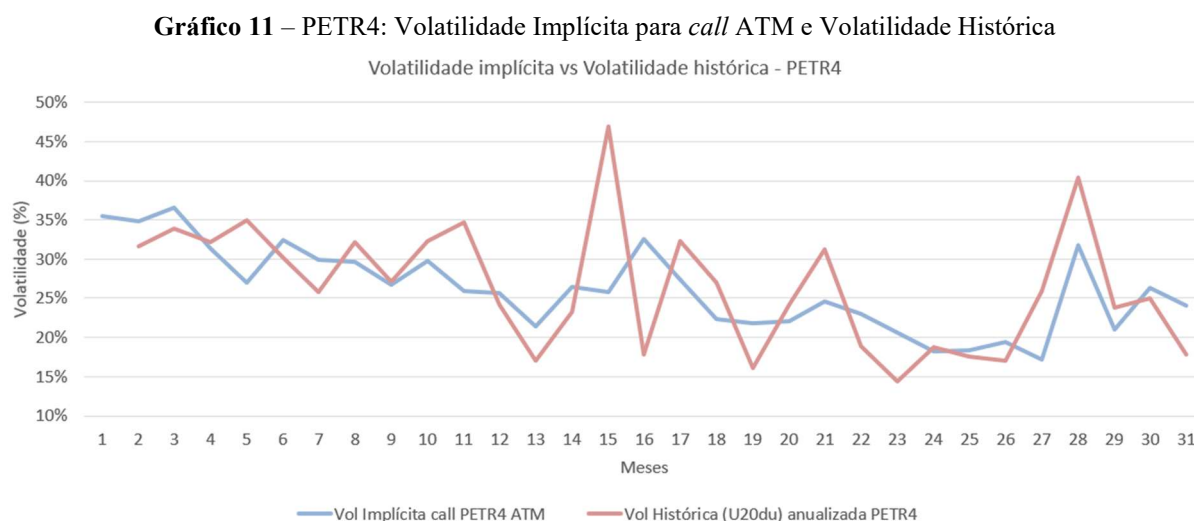
#### 4.3.1 Petrobras

Para a venda coberta de PETR4, observa-se que o ativo subjacente performou bem nos 15 primeiros meses, acumulando uma valorização de 53,7%. Essa alta valorização representou um retorno maior do que a venda coberta na linha do dinheiro nesse período, já que o retorno da venda coberta se limitou aos prêmios da opção vendida e não captou toda a alta de PETR4.

Do mês 16 ao mês 31, a PETR4 se desvalorizou, indo de R\$40,53 no mês 15 para R\$30,17 no mês 31. Dessa forma, como o desempenho do ativo subjacente não foi bom, a operação de venda coberta foi mais do que compensada, já que as opções de compra não entraram no dinheiro e os prêmios vendidos foram acumulados. Assim, a estratégia de venda coberta analisada no período total, no qual houve momentos de valorização e desvalorização de PETR4, acabou performando melhor que a simples exposição à PETR4: retorno acumulado de 33,0% contra 14,4% da PETR4 e 34,8% da taxa DI.

Destacamos que essa rentabilidade foi bastante decente, superando inclusive o retorno de títulos isentos, como LCAs, que rendem abaixo do CDI, contudo, é importante ajustar esses ganhos potenciais ao risco e por óbvio, o risco de Letras de Crédito é menor.

Ou seja, apesar do risco associado ao mercado de renda variável, a estratégia retornou em 31 meses apenas 94,8% da taxa livre de risco, mesmo com o papel da Petrobras tendo alguma valorização. Ao olhar para o gráfico de volatilidade abaixo da PETR4, percebe-se que ao contrário de como estabelecido como hipótese inicialmente, a volatilidade implícita não esteve na maior parte dos meses acima da volatilidade histórica, o que indica que não parece ter uma oportunidade de incremento de retorno - a estratégia de venda coberta não teria superado a ação da Petrobras caso ela mantivesse a tendência de alta.

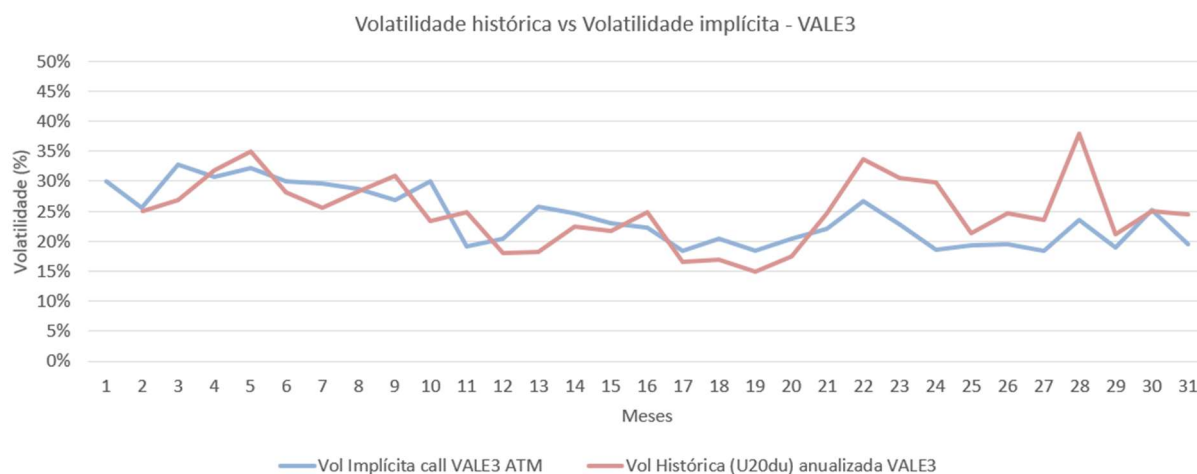


**Fonte –** Elaboração Própria (dados da B3)

### 4.3.2 Vale

A ação da Vale teve forte queda nos meses iniciais de 2023 e não demonstrou recuperação até agosto de 2025. Dessa forma, os prêmios recebidos não foram suficientes para compensar as perdas do ativo subjacente. A venda coberta na linha do dinheiro acumulou um retorno negativo de 18,1%, comparado com -43,3% da VALE3 e 34,8% da taxa DI. O gráfico de volatilidade também não reflete a hipótese de que a volatilidade implícita seria maior que a volatilidade histórica.

**Gráfico 12 – VALE3: Volatilidade Implícita para *call* ATM e Volatilidade Histórica**

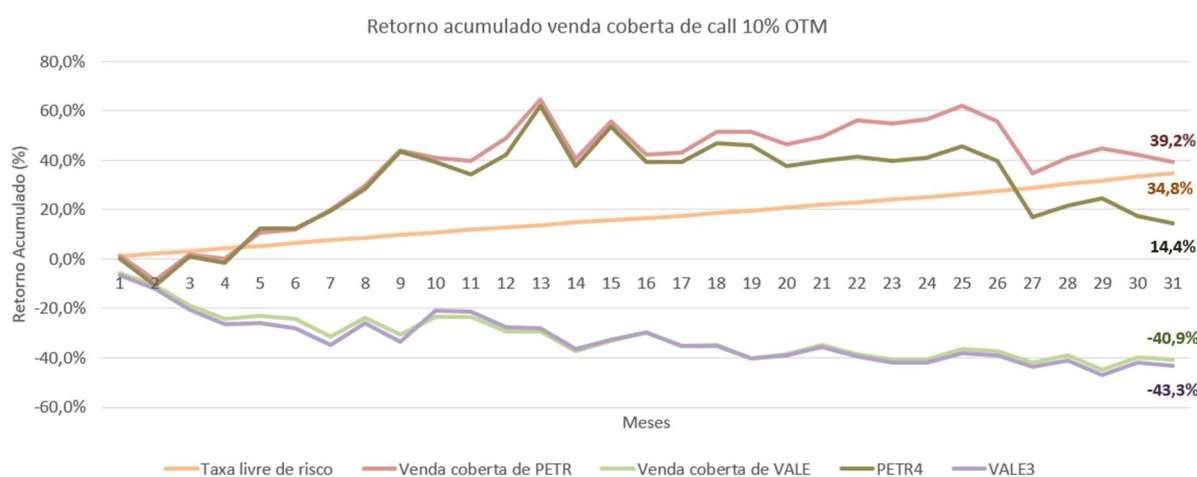


Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

## 4.4 Venda Coberta de *Call* OTM

Abaixo, segue o resultado acumulado por meses de operação da estratégia de venda coberta de *call* OTM:

**Gráfico 13 – Resultado da venda coberta de *call* OTM**

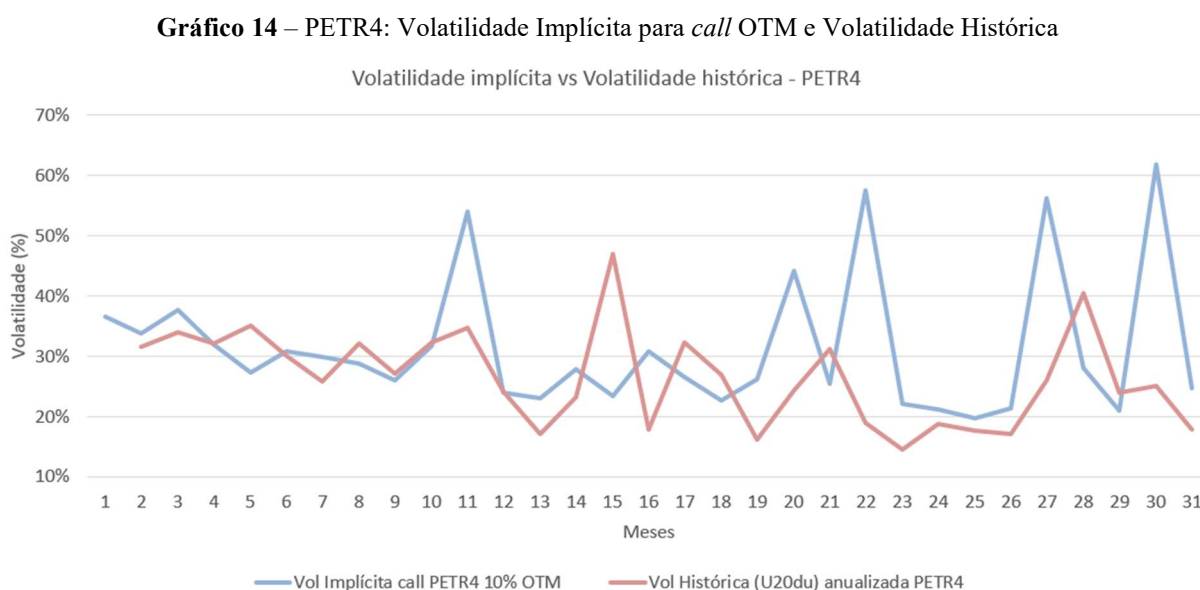


Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

#### 4.4.1 Petrobras

Ao contrário da venda coberta na linha do dinheiro, essa estratégia alternativa conseguiu se igualar à exposição ao ativo subjacente no período de alta de PETR4, contudo, do mês 20 a 31, a estratégia não conseguiu compensar a desvalorização de PETR4 e boa parte dos ganhos econômicos da estratégia foram dissipados. Assim, a venda coberta fora do dinheiro gerou um retorno acumulado de 39,2%, que equivale a 112,6% da taxa DI do período.

Essa estratégia funcionou ligeiramente melhor do que a venda na linha do dinheiro para PETR4. Como explicações disso, pode-se dizer que a estratégia conseguiu ir tão bem quanto ou melhor do que o ativo subjacente em momento de alta e conseguiu minimizar as perdas mesmo que em nível menor que a venda na linha do dinheiro em um momento de baixa. Além disso, a volatilidade implícita calculada foi substancialmente acima da volatilidade histórica em diversos meses conforme gráfico abaixo (geralmente, devido ao *smirk* da curva de volatilidade implícita, opções mais OTM tendem a ter volatilidades implícitas distorcidas acima da volatilidade das opções ATM):



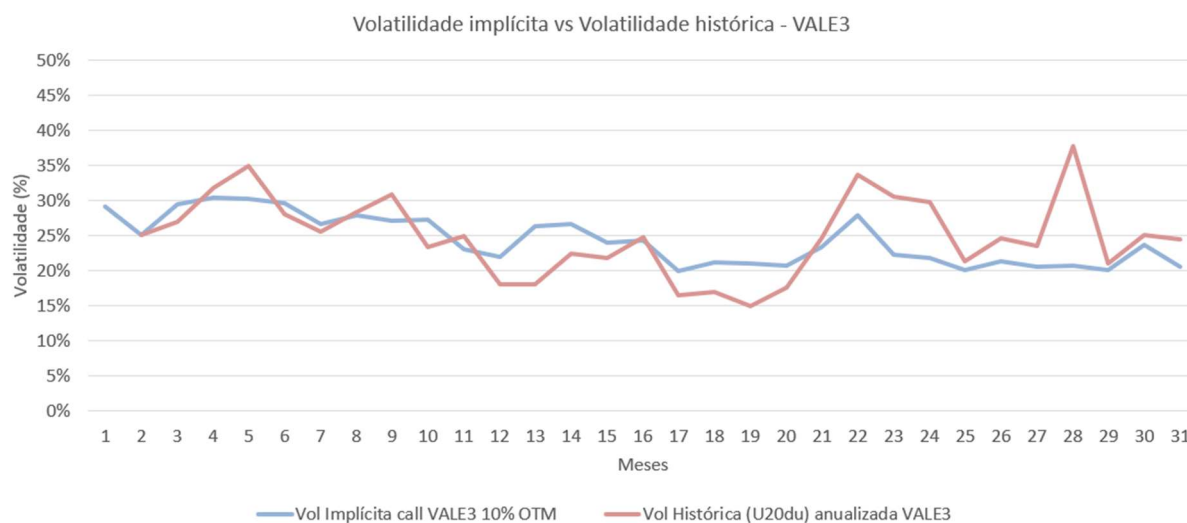
**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

#### 4.4.2 Vale

A modificação de vender a *call* fora da linha do dinheiro para a VALE3, que apresentou queda acumulada de -43,3%, apresentou desempenho baixo tanto de forma absoluta quanto comparada com a venda de *call* coberta na linha do dinheiro para VALE3, que reduziu

parcialmente as perdas. Isso ocorre porque em meses que a VALE3 esteve em queda, a estratégia de venda coberta teve, obviamente, desempenho melhor, porém com diferença pequena (em média 0,47%). Enquanto mesmo no período de *bear market* a ação da Vale apresentou meses específicos de forte valorização (>10%), nesses casos o retorno de segurar VALE3 foi, em média, 5% maior que a estratégia de venda coberta fora do dinheiro. Dessa forma, a estratégia gerou um retorno total de -40,9%, próximo dos -43,3% de VALE3, e equivalente a -117,4% da taxa DI. Sobre o gráfico de volatilidade abaixo, é difícil tirar alguma conclusão fora que a volatilidade implícita e a histórica se alternaram em termos de maior valor. Cumpre destacar que a venda de opção OTM com um ativo subjacente que caiu substancialmente tende a performar pior do que a venda ATM, uma vez que o investidor participa da perda devido ao retorno negativo do ativo subjacente com o agravante de receber prêmios menores nas *calls* OTM quando comparado aos prêmios das *calls* ATM.

**Gráfico 15 – VALE3: Volatilidade Implícita para call OTM e Volatilidade Histórica**

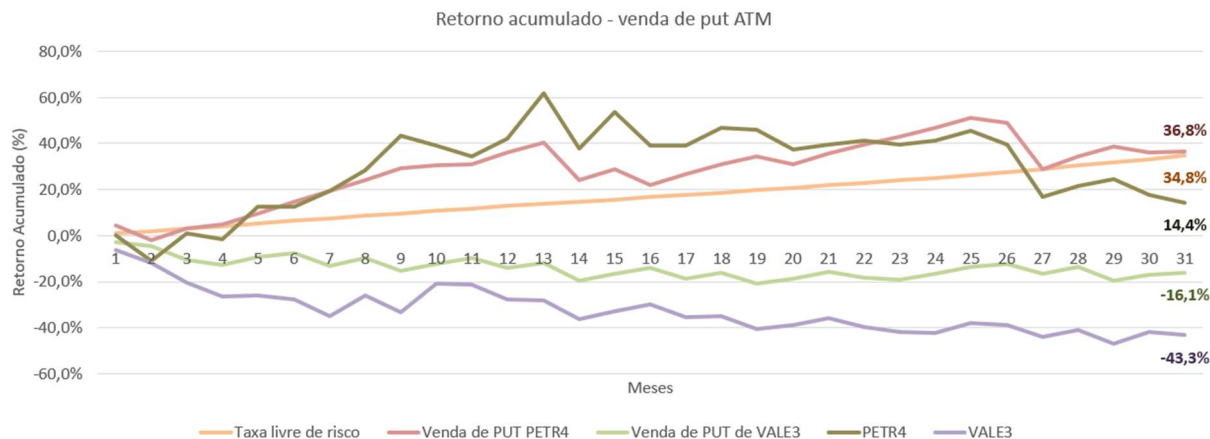


Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

## 4.5 Venda Colateralizada de Put ATM

Abaixo, segue o resultado acumulado por meses de operação da estratégia de venda colateralizada de put ATM:

**Gráfico 16 – Resultado da venda colateralizada de put ATM**



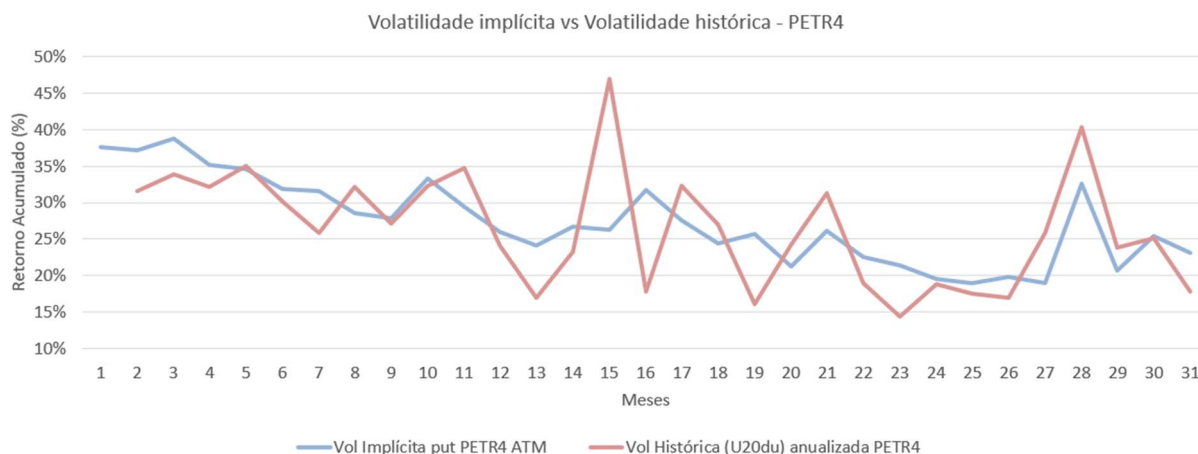
Fonte – Elaboração Própria (dados da B3)

#### 4.5.1 Petrobras

Assim como a venda coberta de *call*, a venda colateralizada de *put* teve performance inferior à PETR4 no período de forte valorização dessa ação. O valor da *put* a ser recomprada no final de cada mês era na maior parte das vezes igual a zero, de forma que o retorno era limitado à capitalização do *strike* e ao prêmio inicial da *put*. A partir do mês 16, quando PETR4 performou mal, a venda colateralizada ultrapassou o retorno total PETR4, já que em vezes que a ação andava de lado, o prêmio da *put* era capitalizado e não exercido, gerando retorno positivo e nos meses que a ação caía, a performance de venda colateralizada gerou perdas menores que a simples exposição a PETR4.

No total, essa estratégia gerou um retorno de 36,8%, acima dos 33,0% da venda coberta de PETR4, dos 14,4% de estar comprado em PETR4 e equivalente a 105,7% da taxa DI no período, o que parece não compensar os riscos do mercado de opções. O gráfico de volatilidade abaixo também mostra que ao contrário do esperado inicialmente, a volatilidade histórica não foi consistentemente menor do que a volatilidade implícita, o que pode justificar um retorno não tão atrativo.

**Gráfico 17 – PETR4: Volatilidade Implícita para *put* ATM e Volatilidade Histórica**



**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

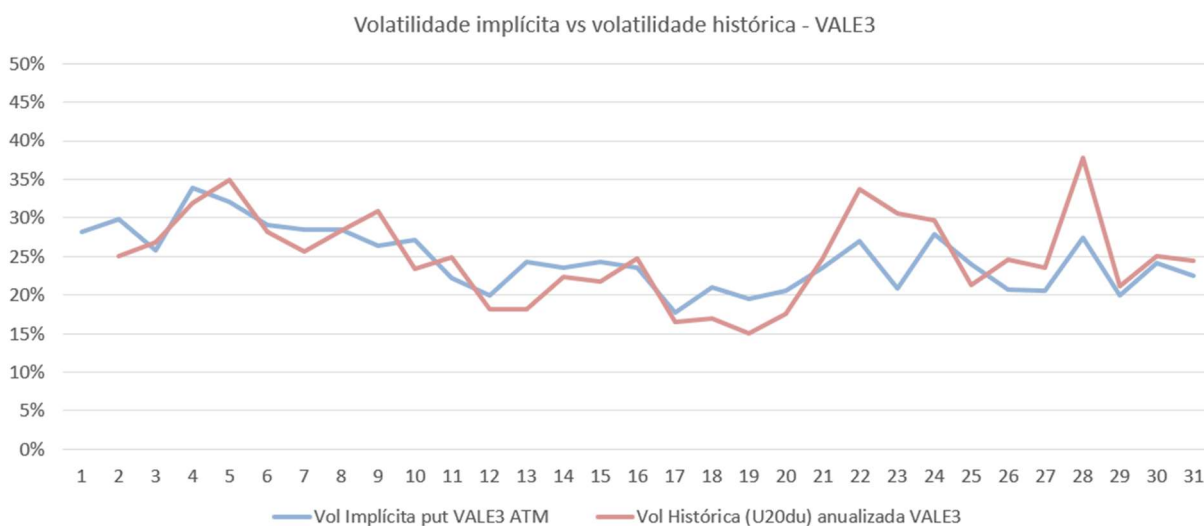
## 4.5.2 Vale

A venda colateralizada de *put* ATM obteve retorno parecido com a venda coberta de *call* na linha do dinheiro. Nos meses em que a ação andou de lado, teve-se um retorno positivo, resultado da capitalização do *strike* e do prêmio, além da opção não ter sido exercida no fim do período. Contudo, nos meses de queda da ação, a *put* teve que ser recomprada a um valor superior ao vendido, de forma que a operação não conseguiu compensar todas as perdas de VALE3. No total essa operação gerou um retorno de -16,1%, comparado com -18,1% da venda coberta, -43,3% da VALE3 e 34,8% da taxa DI.

Por último, o gráfico de volatilidade confirma novamente que a volatilidade histórica supera a volatilidade implícita ao contrário das expectativas.



**Gráfico 18 – VALE3: Volatilidade Implícita para *put* ATM e Volatilidade Histórica**



**Fonte –** Elaboração Própria (dados da B3)

## 5 CONCLUSÃO

Acreditamos que diferentes tipos de ETFs se disseminarão cada vez mais no país, principalmente pelos custos reduzidos dessa estratégia. À título de ilustração, a taxa de administração do BOVA11, por exemplo, é de 0,1% a.a vs 2% a.a nos principais fundos de ação. Sendo assim, o trabalho realizado contribui com o debate ainda muito incipiente acerca da introdução de fundos de índice na B3 que repliquem estratégias de venda de opções, como já existe no mercado americano.

**Gráfico 19** – Número de investidores em ETF na B3

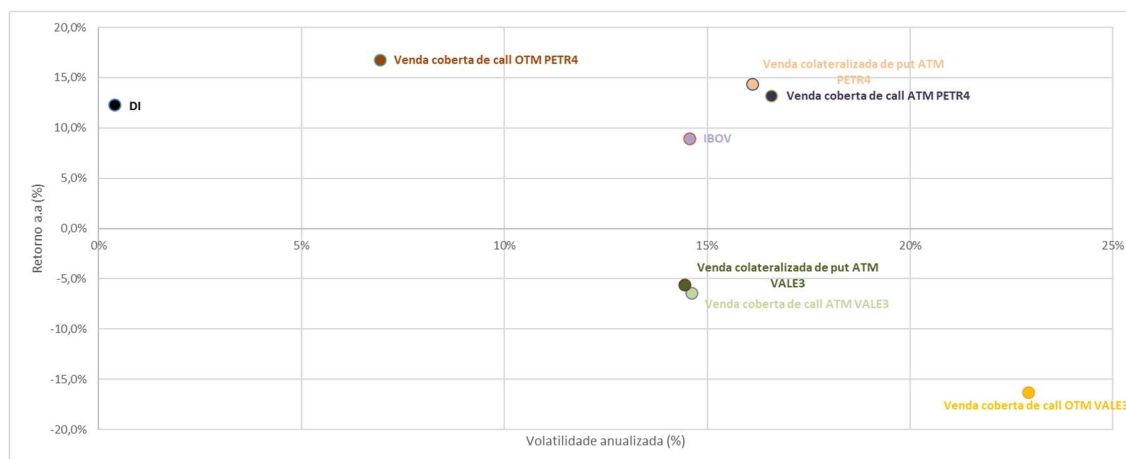


**Fonte** – Elaboração Própria (B3,2025)

Os testes realizados permitem concluir que no período analisado, a réplica das estratégias efetuadas por ETFs estrangeiros no mercado brasileiro, realizada por meio dos ativos de renda variável com maior liquidez no país (PETR4 e VALE3) demonstrou não ser uma alternativa que consistentemente supera a taxa livre de risco do Brasil, tendo em vista que a hipótese nula não foi rejeitada em nenhum dos 6 testes realizados a um nível de significância de 10%. Segundo os testes de hipótese, também não foi possível afirmar estatisticamente que alguma estratégia foi capaz de fornecer rentabilidade superior à do IBOV no período analisado.

Outra forma de observar a relação risco-retorno dos ativos é comparar graficamente o retorno anualizado médio obtido e a volatilidade anualizada obtida nesse período, conforme o gráfico 20.

**Gráfico 20 – Relação Risco-Retorno das Estratégias e Benchmark**



**Fonte** – Elaboração Própria (dados da B3)

Observa-se que dentro do universo das 6 estratégias analisadas, da taxa livre de risco e do IBOV, apenas a taxa livre de risco (DI) e a estratégia de venda coberta de *call* OTM para PETR4 estariam na fronteira eficiente segundo a teoria das carteiras, visto que IBOV, venda colateralizada de *put* ATM de VALE3, venda coberta de *call* ATM e OTM de VALE3 apresentam retorno inferior que a taxa DI e uma volatilidade (risco) maior e que venda colateralizada de *put* ATM e venda coberta de *call* ATM para PETR4 apresentam retorno inferior que venda coberta de *call* OTM para PETR4 e volatilidade (risco) maior. Aponta-se novamente que a volatilidade do retorno da taxa DI é próxima, mas não exatamente 0, como em teoria, pela mudança da taxa Selic meta ao longo do período analisado e diferença do número de dias úteis mês a mês.

Vale ressaltar que este trabalho não afirma que nunca será vantajoso vender *calls* cobertas ou *puts* colateralizadas dos ativos em questão, dado que a constatação leva em conta um período de menos de 3 anos. Atribuímos a conclusão a dois principais fatores:

Em primeiro lugar, a própria performance ruim de PETR4 e VALE3 foi um limitante, dado que tanto a venda coberta como a venda colateralizada têm viés altista do ativo subjacente, que o retorno total da PETR4 foi 20% abaixo da taxa livre de risco e que o retorno da VALE3 foi negativo. Nesse cenário, seria improvável que essas operações trouxessem um retorno acima da taxa livre de risco. Por outro lado, foi verificado que ao contrário do mercado americano e da hipótese inicial, a volatilidade implícita dos ativos analisados não se provou superior à volatilidade histórica, ou seja, não é seguro afirmar que conceitualmente a venda de opções

deveria gerar retornos tão acima da média como imaginado inicialmente. Ainda nesse contexto, a única família de opções observada que demonstrou uma volatilidade implícita consistentemente acima da volatilidade histórica foram as opções de compra de PETR4 OTM e esse foi um dos fatores que contribuíram para que a estratégia de venda coberta de PETR4 OTM desse um retorno mensal médio (1,3%) maior que a venda coberta de PETR4 ATM (1,0%).

Além disso, é importante relembrar a limitação dos dados, tendo em vista que o momento exato de última negociação do ativo subjacente não necessariamente é o mesmo da opção e que o strike mais próximo da linha do dinheiro da *call* ou *put* não necessariamente são iguais entre eles e ao preço do ativo subjacente.

Cumprе destacar que, considerando os períodos de queda e valorização dos ativos subjacentes, a utilização desses instrumentos financeiros garantiu retornos maiores no longo prazo do que a simples exposição ao ativo subjacente e com uma variabilidade de retorno menor. Isso fica evidente no caso de VALE3, no qual a venda coberta ou colateralizada na linha do dinheiro resultou ao investidor perdas reduzidas em relação à desvalorização de VALE3 e, no caso de PETR4, que apresentou momentos de alta - no qual o retorno com opções foi menor - e de baixa - no qual o retorno com opções foi superior a PETR4 -, totalizando um retorno total durante 31 meses superior ao utilizar os instrumentos financeiros.

Com base na performance da venda de *put* colateralizada, vale a pena enfatizar ser uma excelente estratégia para *buy and holders* de longo prazo destes ativos, que não têm por objetivo vender suas carteiras de ações. A venda das *puts* permite rentabilizar a carteira através de um dividendo sintético oriundo dos prêmios recebidos, ao mesmo tempo que o investidor aumenta sua posição no ativo subjacente quando “é exercido” no vencimento (comprando o ativo subjacente à mercado e zerando a *put* pelo valor intrínseco para evitar corretagem via Tabela Bovespa). O investidor precisa apenas definir qual o valor nocional a ser vendido mensalmente em *puts* de modo a calibrar o *dividend yield* dos prêmios que deseja receber sem correr o risco de aumentar sua posição comprada além do que este costuma fazer usualmente ao longo do ano. A colateralização da posição vendida usando LFTs (ou outro título de melhor rentabilidade) permite a manutenção da parcela de seus investimentos em renda fixa sem renunciar aos juros.

Em relação a próximos estudos, acredita-se ser interessante aplicar essa mesma metodologia, mas considerando outros ativos subjacentes brasileiros com liquidez satisfatória, como poderia ser o caso das ações do Banco do Brasil e do Itaú. Além disso, é possível atualizar o estudo vigente e verificar se é estatisticamente possível que o desempenho de tais estratégias seja superior ao da taxa DI em janelas mais longas e com dados de melhor qualidade que aqueles disponibilizados gratuitamente pela B3.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Banco Central do Brasil**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>>. Acesso em: 21 out. 2025.

**Central de Downloads - B3**. Disponível em: <<https://ri.b3.com.br/pt-br/servicos-aos-investidores/central-de-downloads/>>. Acesso em: 15 dez. 2025.

DEVENS, D. et al. **Index Option Writing Strategy Benchmarks**. [s.l.] Neuberger Berman, 30 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.nb.com/en/global/insights/index-option-writing-strategy-benchmarks>>. Acesso em: 6 nov. 2025.

HULL, J. C. **Options, Futures, and Other Derivatives**. 11. ed. Harlow Etc.: Pearson Educational Limited. Copyright, 2021.

KNUPP, E. **EVALUATING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THE CBOE S&P 500 PUTWRITE INDEX**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://optionsamurai.com/api/media/file/PUTIndexEnnisKnupp.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MCCLAVE, J. T.; P GEORGE BENSON; SINCICH, T. **Statistics for business and economics**. Boston: Pearson, 2014.

**SHARPE, William F.** *The Sharpe Ratio*. The Journal of Portfolio Management, v. 21, n. 1, p. 49–58, 1994.

SOMANATHAN, T. V.; V ANANTHA NAGESWARAN; HARSH GUPTA. **Derivatives**. [s.l.] Cambridge New York, Ny Melbourne New Dehli Singapore Cambridge University Press, 2018.

**ANEXOS**

**Anexo 1 – Estratégia de venda coberta de call ATM de PETR4**

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
36,85	37,20	38,39	36,80	30,85	32,02	32,82	30,99	30,17
0,96	1,09	1,05	0,87	1,39	1,06	1,24	1,05	1,09
35,89	36,11	37,34	35,93	29,46	30,96	31,58	29,94	29,08
36,89	37,17	38,41	36,91	30,76	32,01	32,73	30,98	30,07
37,19	36,89	37,17	38,41	36,91	30,76	32,01	32,73	30,98
0,00	0,31	1,22	0,00	0,00	1,26	0,81	0,00	0,00
36,85	36,89	37,17	36,80	30,85	30,76	32,01	30,99	30,17
0,81	1,00	1,06	-0,54	-5,08	1,30	1,05	-0,59	0,23
2,2%	2,8%	2,9%	-1,4%	-14,1%	4,4%	3,4%	-1,9%	0,8%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
36,32	40,53	36,69	36,72	38,69	38,50	36,26	36,83	37,27
1,40	1,71	1,43	1,15	1,12	1,30	1,25	1,07	1,23
34,92	38,82	35,26	35,57	37,57	37,20	35,01	35,76	36,04
36,26	40,50	36,70	36,67	38,75	38,42	36,18	36,90	37,19
42,76	36,26	40,50	36,70	36,67	38,75	38,42	36,18	36,90
0,00	4,27	0,00	0,02	2,02	0,00	0,00	0,65	0,37
36,32	36,26	36,69	36,70	36,67	38,50	36,26	36,18	36,90
-4,92	1,34	-2,13	1,44	1,10	0,93	-0,94	1,17	1,14
-11,9%	3,8%	-5,5%	4,1%	3,1%	2,5%	-2,5%	3,3%	3,2%



16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
29,64	29,68	31,52	33,89	37,85	36,71	35,40	37,53	42,69
1,45	1,20	1,23	1,37	1,43	1,23	1,28	1,10	1,45
28,19	28,48	30,29	32,52	36,42	35,48	34,12	36,43	41,24
29,54	29,69	31,54	33,83	37,95	36,79	35,52	37,51	42,76
25,97	29,54	29,69	31,54	33,83	37,95	36,79	35,52	37,51
3,67	0,14	1,83	2,35	4,02	0,00	0,00	2,01	5,18
25,97	29,54	29,69	31,54	33,83	36,71	35,40	35,52	37,51
0,98	1,35	1,21	1,25	1,31	0,29	-0,08	1,40	1,08
3,9%	4,8%	4,2%	4,1%	4,0%	0,8%	-0,2%	4,1%	3,0%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço PETR4</i>	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	1,26	1,19	1,19	1,11	0,93
$\pi_o = S - c_o$	25,11	25,25	22,32	25,58	24,99
<i>K da call vendida</i>	26,26	26,51	23,51	26,76	25,97
<i>K da call em vencimento</i>		26,26	26,51	23,51	26,76
<i>c = máximo (0, S - K)</i>		0,18	0,00	3,18	0,00
$\pi = S - c$		26,26	23,51	23,51	25,92
$r = \pi - \pi_o$		1,15	-1,74	1,19	0,34
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		4,6%	-6,9%	5,3%	1,3%

**Anexo 2 – Estratégia de venda coberta de call ATM de VALE3**

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
54,62	54,49	58,16	57,45	52,88	55,49	49,92	54,56	53,32
1,34	1,71	1,50	1,55	1,88	1,65	1,75	1,57	1,74
53,38	52,78	56,66	55,90	51,00	53,84	48,17	52,99	51,58
54,86	54,36	58,36	57,42	52,73	55,55	49,92	54,55	53,25
57,05	54,86	54,36	58,36	57,42	52,73	55,55	49,92	54,55
0,00	0,00	3,80	0,00	0,00	2,76	0,00	4,64	0,00
54,62	54,49	54,36	57,45	52,88	52,73	49,92	49,92	53,32
-0,36	1,21	1,58	0,79	-3,02	1,73	-3,92	1,75	0,33
-0,7%	2,3%	3,0%	1,4%	-5,4%	3,4%	-7,3%	3,6%	0,6%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
59,76	63,36	66,18	60,83	61,12	56,08	57,35	60,55	56,84
1,92	1,92	1,94	1,73	1,47	1,73	1,64	1,96	1,86
57,84	61,44	64,24	59,10	59,65	54,35	55,71	58,59	54,98
59,99	63,33	65,99	60,83	61,33	56,05	57,55	60,76	57,05
67,82	59,99	63,33	65,99	60,83	61,33	56,05	57,55	60,76
0,00	3,37	2,85	0,00	0,29	0,00	1,30	3,00	0,00
59,76	59,99	63,33	60,83	60,83	56,08	56,05	57,55	56,84
-5,77	2,15	1,89	-3,41	1,73	-3,57	1,70	1,84	-1,75
-8,8%	3,7%	3,1%	-5,3%	2,9%	-6,0%	3,1%	3,3%	-3,0%

16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
69,97	67,80	61,22	69,54	62,68	74,24	73,86	68,10	67,68
3,11	2,80	2,44	2,75	2,44	2,11	2,34	2,20	2,15
66,56	65,00	58,78	66,79	60,24	72,13	71,52	65,90	65,53
69,58	67,66	61,03	69,54	62,73	74,03	73,82	68,32	67,82
69,16	69,58	67,66	61,03	69,54	62,73	74,03	73,82	68,32
0,51	0,00	0,00	8,51	0,00	11,51	0,00	0,00	0,00
69,19	67,80	61,22	61,03	62,68	62,73	73,86	68,10	67,68
2,94	1,24	-3,78	2,25	-4,11	2,49	1,73	-3,42	1,78
4,4%	1,9%	-5,8%	3,8%	-6,2%	4,1%	2,4%	-4,8%	2,7%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço VALE3</i>	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	3,74	3,09	3,67	3,20	2,99
$\pi_o = S - c_o$	90,25	84,94	79,06	71,46	66,22
<i>K da call vendida</i>	93,91	88,16	82,97	74,58	69,16
<i>K da call em vencimento</i>		93,91	88,16	82,97	74,58
<i>c = máximo (0, S - K)</i>		0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi = S - c$		88,03	82,73	74,66	69,21
$r = \pi - \pi_o$		-2,22	-2,21	-4,40	-2,25
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		-2,5%	-2,6%	-5,6%	-3,1%

**Anexo 3 – Estratégia de venda coberta de call OTM de PETR4**

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
36,85	37,20	38,39	36,80	30,85	32,02	32,82	30,99	30,17
0,08	0,10	0,10	1,15	0,21	0,11	1,24	0,15	0,15
36,77	37,10	38,29	35,65	30,64	31,91	31,58	30,84	30,02
40,64	40,92	42,16	40,47	34,01	35,26	36,20	33,98	33,07
40,94	40,64	40,92	42,16	40,47	34,01	35,26	36,20	33,98
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36,85	37,20	38,39	36,80	30,85	32,02	32,82	30,99	30,17
-0,25	0,43	1,29	-1,49	-4,80	1,38	0,91	-0,59	-0,67
-0,7%	1,2%	3,5%	-3,9%	-13,5%	4,5%	2,9%	-1,9%	-2,2%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
36,32	40,53	36,69	36,72	38,69	38,50	36,26	36,83	37,27
0,17	0,34	0,25	0,11	0,20	0,96	0,16	1,16	0,17
36,15	40,19	36,44	36,61	38,49	37,54	36,10	35,67	37,10
40,01	44,50	40,45	40,42	42,50	42,30	39,93	40,51	40,94
47,01	40,01	44,50	40,45	40,42	42,50	42,30	39,93	40,51
0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
36,32	40,01	36,69	36,72	38,69	38,50	36,26	36,83	37,27
-6,12	3,86	-3,50	0,28	2,08	0,01	-1,28	0,73	1,60
-14,4%	10,7%	-8,7%	0,8%	5,7%	0,0%	-3,4%	2,0%	4,5%



16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
29,64	29,68	31,52	33,89	37,85	36,71	35,40	37,53	42,69
0,35	0,23	0,20	0,23	0,33	1,07	0,18	0,12	0,25
29,29	29,45	31,32	33,66	37,52	35,64	35,22	37,41	42,44
32,54	32,69	34,79	37,33	41,70	40,45	39,02	41,26	47,01
28,47	32,54	32,69	34,79	37,33	41,70	40,45	39,02	41,26
1,17	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	1,43
28,47	29,68	31,52	33,89	37,33	36,71	35,40	37,53	41,26
2,71	0,39	2,07	2,57	3,67	-0,81	-0,24	2,31	3,85
10,5%	1,3%	7,0%	8,2%	10,9%	-2,2%	-0,7%	6,6%	10,3%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço PETR4</i>	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	0,34	0,31	0,42	0,29	0,16
$\pi_o = S - c_o$	26,03	26,13	23,09	26,40	25,76
<i>K da call vendida</i>	29,01	29,01	25,76	29,26	28,47
<i>K da call em vencimento</i>		29,01	29,01	25,76	29,26
<i>c = máximo (0, S - K)</i>		0,00	0,00	0,93	0,00
$\pi = S - c$		26,44	23,51	25,76	25,92
$r = \pi - \pi_o$		0,41	-2,62	2,67	-0,48
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		1,6%	-10,0%	11,6%	-1,8%

Anexo 4 – Estratégia de venda coberta de call OTM de VALE3

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
54,62	54,49	58,16	57,45	52,88	55,49	49,92	54,56	53,32
0,17	0,17	0,15	0,10	0,13	0,17	0,19	0,12	0,14
54,45	54,32	58,01	57,35	52,75	55,32	49,73	54,44	53,18
59,86	59,86	63,86	63,42	58,23	61,05	54,92	60,05	58,75
62,55	59,86	59,86	63,86	63,42	58,23	61,05	54,92	60,05
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
54,62	54,49	58,16	57,45	52,88	55,49	49,92	54,56	53,32
-1,97	0,04	3,84	-0,56	-4,47	2,74	-5,40	4,83	-1,12
-3,5%	0,1%	7,1%	-1,0%	-7,8%	5,2%	-9,8%	9,7%	-2,1%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
59,76	63,36	66,18	60,83	61,12	56,08	57,35	60,55	56,84
0,35	0,23	0,16	0,15	0,13	0,19	0,20	0,32	0,25
59,41	63,13	66,02	60,68	60,99	55,89	57,15	60,23	56,59
65,49	69,83	72,99	66,83	67,33	61,55	63,05	66,76	62,55
74,32	65,49	69,83	72,99	66,83	67,33	61,55	63,05	66,76
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
59,76	63,36	66,18	60,83	61,12	56,08	57,35	60,55	56,84
-7,55	3,95	3,05	-5,19	0,44	-4,91	1,46	3,40	-3,39
-11,2%	6,6%	4,8%	-7,9%	0,7%	-8,1%	2,6%	5,9%	-5,6%

16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
69,97	67,80	61,22	69,54	62,68	74,24	73,86	68,10	67,68
0,73	0,38	0,36	0,55	0,39	0,25	0,29	0,35	0,37
68,94	67,42	60,86	68,99	62,29	73,99	73,57	67,75	67,31
76,58	74,66	67,53	76,54	68,73	81,53	81,32	74,82	74,32
76,16	76,58	74,66	67,53	76,54	68,73	81,53	81,32	74,82
0,00	0,00	0,00	2,01	0,00	5,51	0,00	0,00	0,00
69,97	67,80	61,22	67,53	62,68	68,73	73,86	68,10	67,68
1,02	-1,14	-6,20	6,67	-6,31	6,44	-0,13	-5,47	-0,07
1,5%	-1,7%	-9,2%	11,0%	-9,1%	10,3%	-0,2%	-7,4%	-0,1%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço VALE3</i>	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
<i>c<sub>o</sub> (venda da call)</i>	0,66	0,44	0,78	0,68	0,56
$\pi_o = S - c_o$	93,33	87,59	81,95	73,98	68,65
<i>K da call vendida</i>	103,41	96,66	90,97	82,08	76,16
<i>K da call em vencimento</i>		103,41	96,66	90,97	82,08
<i>c = máximo (0, S - K)</i>		0,00	0,00	0,00	0,00
$\pi = S - c$		88,03	82,73	74,66	69,21
$r = \pi - \pi_o$		-5,30	-4,86	-7,29	-4,77
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		-5,7%	-5,5%	-8,9%	-6,4%

**Anexo 5 – Estratégia de venda colateralizada de put ATM de PETR4**

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
36,85	37,20	38,39	36,80	30,85	32,02	32,82	30,99	30,17
0,66	0,71	0,70	0,64	0,96	0,67	0,74	0,65	0,69
36,89	37,17	38,41	36,91	30,76	32,01	32,73	30,98	30,07
37,19	36,89	37,17	38,41	36,91	30,76	32,01	32,73	30,98
37,55	37,88	39,11	37,55	31,72	32,68	33,47	31,63	30,76
0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%
38,37	37,93	38,25	39,49	37,95	32,08	33,04	33,84	31,98
0,34	0,00	0,00	1,61	6,06	0,00	0,00	1,74	0,81
38,03	37,93	38,25	37,88	31,89	32,08	33,04	32,10	31,17
0,84	1,04	1,08	-0,53	-5,02	1,32	1,03	-0,63	0,19
2,3%	2,8%	2,9%	-1,4%	-13,6%	4,3%	3,2%	-1,9%	0,6%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
36,32	40,53	36,69	36,72	38,69	38,50	36,26	36,83	37,27
1,03	1,29	1,15	0,84	1,00	0,85	0,88	0,82	0,83
36,26	40,50	36,70	36,67	38,75	38,42	36,18	36,90	37,19
42,76	36,26	40,50	36,70	36,67	38,75	38,42	36,18	36,90
37,29	41,79	37,85	37,51	39,75	39,27	37,06	37,72	38,02
0,8%	0,9%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	0,8%	0,9%	0,8%
44,29	37,62	42,14	38,15	37,85	40,09	39,60	37,40	38,02
6,44	0,00	3,81	0,00	0,00	0,25	2,16	0,00	0,00
37,85	37,62	38,33	38,15	37,85	39,84	37,44	37,40	38,02
-4,91	1,36	-2,17	1,45	1,18	1,09	-0,98	1,22	1,12
-11,5%	3,8%	-5,4%	3,9%	3,2%	2,8%	-2,6%	3,4%	3,0%



16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
29,64	29,68	31,52	33,89	37,85	36,71	35,40	37,53	42,69
1,00	0,91	0,89	1,01	1,32	1,11	1,06	0,88	1,16
29,54	29,69	31,54	33,83	37,95	36,79	35,52	37,51	42,76
25,97	29,54	29,69	31,54	33,83	37,95	36,79	35,52	37,51
30,54	30,60	32,43	34,84	39,27	37,90	36,58	38,39	43,92
1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	1,0%	0,8%
27,17	30,87	30,95	32,75	35,19	39,63	38,24	36,93	38,70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	1,39	0,00	0,00
27,17	30,87	30,95	32,75	35,19	38,39	36,85	36,93	38,70
1,20	1,33	1,26	1,21	1,36	0,44	0,06	1,41	1,19
4,6%	4,5%	4,2%	3,8%	4,0%	1,2%	0,2%	4,0%	3,2%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço PETR4</i>	26,37	26,44	23,51	26,69	25,92
$p_o$ (venda da put)	0,96	1,00	1,03	0,98	0,91
$\pi_o = K$ da put vendida	26,26	26,51	23,51	26,76	25,97
<i>K da put em vencimento</i>		26,26	26,51	23,51	26,76
$VDI_o = \pi_o + p_o$	27,22	27,51	24,54	27,74	26,88
$rf$		0,9%	1,2%	0,9%	1,1%
$VDI = (1 + rf) \times VDI_o$ (anterior)		27,47	27,83	24,77	28,05
$p = \text{máximo}(0, K \text{ em venc.} - S)$		0,00	3,00	0,00	0,84
$\pi = VDI - p$		27,47	27,83	24,77	27,21
$r = \pi - \pi_o$		1,21	-1,68	1,26	0,45
<i>Retorno mensal (%) = <math>\pi/\pi_o</math></i>		4,6%	-6,3%	5,3%	1,7%

**Anexo 6 – Estratégia de venda colateralizada de put ATM de VALE3**

20/12/2024	17/01/2025	21/02/2025	21/03/2025	17/04/2025	16/05/2025	20/06/2025	18/07/2025	15/08/2025
54,62	54,49	58,16	57,45	52,88	55,49	49,92	54,56	53,32
1,58	1,34	1,20	1,01	1,33	1,14	1,11	1,11	0,88
54,86	54,36	58,36	57,42	52,73	55,55	49,92	54,55	53,25
57,05	54,86	54,36	58,36	57,42	52,73	55,55	49,92	54,55
56,44	55,70	59,56	58,43	54,06	56,69	51,03	55,66	54,13
0,9%	1,0%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%	1,1%
58,97	57,01	56,25	60,13	59,05	54,67	57,31	51,59	56,27
2,43	0,37	0,00	0,91	4,54	0,00	5,63	0,00	1,23
56,54	56,64	56,25	59,22	54,51	54,67	51,68	51,59	55,04
-0,51	1,78	1,89	0,86	-2,91	1,94	-3,87	1,67	0,49
-0,9%	3,2%	3,5%	1,5%	-5,1%	3,7%	-7,0%	3,3%	0,9%

15/03/2024	19/04/2024	17/05/2024	21/06/024	19/07/2024	16/08/2024	20/09/2024	18/10/2024	14/11/2024
59,76	63,36	66,18	60,83	61,12	56,08	57,35	60,55	56,84
1,70	1,43	1,16	1,19	1,20	1,23	1,38	1,69	1,38
59,99	63,33	65,99	60,83	61,33	56,05	57,55	60,76	57,05
67,82	59,99	63,33	65,99	60,83	61,33	56,05	57,55	60,76
61,69	64,76	67,15	62,02	62,53	57,28	58,93	62,45	58,43
0,8%	0,9%	0,8%	0,8%	0,9%	0,9%	0,8%	0,9%	0,8%
70,01	62,24	65,30	67,68	62,58	63,07	57,76	59,48	62,94
8,06	0,00	0,00	5,16	0,00	5,25	0,00	0,00	3,92
61,95	62,24	65,30	62,52	62,58	57,82	57,76	59,48	59,02
-5,87	2,25	1,97	-3,47	1,75	-3,51	1,71	1,93	-1,74
-8,7%	3,7%	3,1%	-5,3%	2,9%	-5,7%	3,0%	3,3%	-2,9%

16/06/2023	21/07/2023	18/08/2023	15/09/2023	20/10/2023	17/11/2023	15/12/2023	19/01/2024	16/02/2024
69,97	67,80	61,22	69,54	62,68	74,24	73,86	68,10	67,68
2,17	1,76	1,61	1,99	1,69	1,47	1,51	1,73	1,61
69,58	67,66	61,03	69,54	62,73	74,03	73,82	68,32	67,82
69,16	69,58	67,66	61,03	69,54	62,73	74,03	73,82	68,32
71,75	69,42	62,64	71,53	64,42	75,50	75,33	70,05	69,43
1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	1,0%	0,8%
72,07	72,52	70,21	63,25	72,24	65,01	76,18	76,06	70,61
0,00	1,78	6,44	0,00	6,86	0,00	0,17	5,72	0,64
72,07	70,74	63,77	63,25	65,38	65,01	76,01	70,34	69,97
2,91	1,16	-3,89	2,22	-4,16	2,28	1,98	-3,48	1,65
4,2%	1,7%	-5,7%	3,6%	-6,0%	3,6%	2,7%	-4,7%	2,4%

<i>Data</i>	20/01/2023	17/02/2023	17/03/2023	20/04/2023	19/05/2023
<i>S: preço VALE3</i>	93,99	88,03	82,73	74,66	69,21
$p_o$ (venda da put)	2,57	2,55	2,41	2,51	2,15
$\pi_o = K$ da put vendida	93,91	88,16	82,97	74,58	69,16
<i>K da put em vencimento</i>		93,91	88,16	82,97	74,58
$VDI_o = \pi_o + p_o$	96,48	90,71	85,38	77,09	71,31
$rf$		0,9%	1,2%	0,9%	1,1%
$VDI = (1 + rf) \times VDI_o$ (anterior)		97,37	91,78	86,16	77,96
$p = \text{máximo}(0, K \text{ em venc.} - S)$		5,88	5,43	8,31	5,37
$\pi = VDI - p$		91,49	86,35	77,85	72,59
$r = \pi - \pi_o$		-2,42	-1,81	-5,12	-1,99
Retorno mensal (%) = $\pi/\pi_o$		-2,6%	-2,1%	-6,2%	-2,7%