

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEXANDRE OLIVEIRA GARÇÃO

VIX BRASILEIRO: UMA FERRAMENTA PARA PREVISÃO DO INTERVALO DE
OSCILAÇÃO DO ÍNDICE IBOVESPA

CURITIBA

2025

ALEXANDRE OLIVEIRA GARÇÃO

VIX BRASILEIRO: UMA FERRAMENTA PARA PREVISÃO DO INTERVALO DE
OSCILAÇÃO DO ÍNDICE IBOVESPA

Dissertação apresentada ao Programa
Profissional de Pós-Graduação em Economia,
na Universidade do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre em
Economia

Orientador: Prof. Dr. Adalto Acir Althaus
Junior

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Garção, Alexandre Oliveira

Vix brasileiro : uma ferramenta para previsão do intervalo de
oscilação do índice Ibovespa / Alexandre Oliveira Garção .- 2025.

1 recurso on-line: PDF.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Adalto Acir Althaus Junior.

1.Economia. 2. Processo decisório - Métodos estatísticos.

I. Althaus Junior, Adalto Acir. II. Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Sociais Aplicadas. Programa de Programa de
Pós-Graduação em Economia. III. Título.

Bibliotecária: Kathya Fecher Dias – CRB-9/2198

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ECONOMIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **ALEXANDRE OLIVEIRA GARÇÃO**, intitulada: **VIX BRASILEIRO: UMA FERRAMENTA PARA PREVISÃO DO INTERVALO DE OSCILAÇÃO DO ÍNDICE IBOVESPA**, sob orientação do Prof. Dr. ADALTO ACIR ALTHAUS JUNIOR, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 08 de Agosto de 2025.

Assinatura Eletrônica

27/08/2025 00:57:30.0

ADALTO ACIR ALTHAUS JUNIOR

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

26/08/2025 10:05:24.0

MARCELO DA SILVA BEGO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA)

Assinatura Eletrônica

25/08/2025 15:47:29.0

GUILHERME RICARDO DOS SANTOS SOUZA E SILVA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir mais essa conquista e a toda minha família pelo apoio, motivação e paciência durante esta jornada.

Aos professores da Universidade Federal do Paraná, que em sua maioria sempre demonstraram atenção, respeito e uma didática admirável, contribuindo significativamente para minha formação.

Por fim, registro minha sincera gratidão ao meu orientador, professor Dr. Adalto Acir Althaus Junior, pelo seu apoio essencial em todas as etapas deste processo.

RESUMO

Este trabalho investiga a eficácia do índice de volatilidade implícita brasileiro (VXBR) como ferramenta para prever o intervalo de oscilação do índice Ibovespa. A motivação decorre do fato do VXBR ser um índice recente para o mercado brasileiro e na escassez de análises empíricas sobre sua aplicabilidade prática. Busca-se compreender se o índice pode ser utilizado não apenas como um termômetro do sentimento de mercado, mas também como um instrumento preditivo útil para investidores e analistas. Utilizando dados diários de maio de 2021 a setembro de 2024, foram analisadas previsões para janelas temporais de 15, 30 e 45 dias. A metodologia consistiu na conversão da volatilidade anualizada do VXBR em intervalos de oscilação esperada, assumindo distribuição normal dos retornos. Os resultados indicam que o VXBR é um bom preditor para o intervalo de oscilação do Ibovespa, com destaque para o período de 30 dias, que apresentou 85% de acerto, superando a expectativa teórica de 68,2%. Em mercados de alto estresse ($VXBR \geq 25$), a assertividade chegou a 100% nesse mesmo período. O estudo conclui que o VXBR é uma ferramenta valiosa para investidores e analistas, especialmente em horizontes de 30 dias, embora ressalte a importância de considerar o risco de cauda e o contexto macroeconômico. Recomenda-se a ampliação da amostra e o uso de dados intradiários em pesquisas futuras.

Palavras-chave: volatilidade implícita, risco de cauda, VXBR, VIX e VIX Brasileiro.

ABSTRACT

This study investigates the effectiveness of the Brazilian implied volatility index (VXBR) as a tool for forecasting the oscillation range of the Ibovespa index. The motivation for this research stems from the fact that VXBR is a recent index in the Brazilian market and from the lack of empirical analyses regarding its practical applicability. The aim is to understand whether the index can be used not only as a thermometer of market sentiment but also as a predictive instrument useful for investors and analysts. Using daily data from May 2021 to September 2024, forecasts were analyzed for time windows of 15, 30, and 45 days. The methodology involved converting the annualized VXBR volatility into expected oscillation intervals, assuming a normal distribution of returns. The results indicate that VXBR is a reliable predictor for the Ibovespa's oscillation range, with particular emphasis on the 30-day period, which showed an 85% accuracy rate, exceeding the theoretical expectation of 68.2%. In high-stress market conditions ($VXBR \geq 25$), accuracy reached 100% for the same period. The study concludes that VXBR is a valuable tool for investors and analysts, especially for 30-day horizons, while highlighting the importance of considering tail risk and macroeconomic context. Future research is encouraged to expand the sample and incorporate intraday data.

Keywords: implied volatility, tail risk, VXBR, VIX e Brazilian VIX.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LINHA DO TEMPO DE ESTUDOS ANTERIORES NO CONTEXTO INTERNACIONAL.....	12
FIGURA 2 – LINHA DO TEMPO DE ESTUDOS ANTERIORES NO CONTEXTO BRASILEIRO	13
FIGURA 3 – DETALHAMENTO VISUAL DA DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE PREVISÃO DE 45, 30 E 15 DIAS.....	26
FIGURA 4 – FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE DE UMA POPULAÇÃO NORMAL COM MÉDIA μ E VARIÂNCIA Σ^2	28
FIGURA 5 – GRÁFICO DO IBOVESPA COM O CONE DE PREVISÃO PARA O PERÍODO DE 30 DIAS INICIANDO EM 16/06/2021.	30
FIGURA 6 – GRÁFICO DO IBOVESPA COM O CONE DE PREVISÃO PARA O PERÍODO DE 30 DIAS INICIANDO EM 16/06/2021 E OS VALORES DE FECHAMENTO DO IBOVESPA.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – COTAÇÃO DIÁRIA IBOV E VXBR ENTRE O PERÍODO DE MAIO 2021 A SETEMBRO DE 2024	34
GRÁFICO 2 – FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA PARA CADA PERÍODO DE PREVISÃO	36
GRÁFICO 3 – RISCO DE CAUDA PARA OS PERÍODOS ANALISADOS	39

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - AS DEFINIÇÕES, CONDIÇÕES DE LUCRATIVIDADE E PREMISSAS DIRECIONAIS PARA CALL/PUTS COMPRADAS/VENDIDAS	17
TABELA 2 – VALORES DE FECHAMENTO DO ÍNDICE IBOVESPA E VXBR DAS DATAS DE INÍCIO PARA CADA PERÍODO DE PREVISÃO	27
TABELA 3 – RESULTADOS DA AMPLITUDE E DOS LIMITES SUPERIOR E INFERIOR DE PREVISÃO DA OSCILAÇÃO, CALCULADAS A PARTIR DA DATA DE REFERÊNCIA 16/07/2021.	29
TABELA 4 – RESULTADO DA ANÁLISE PARA OS PERÍODOS DE PREVISÃO DE 15, 30 E 45 DIAS NA DATA 16/07/2021.....	32
TABELA 5 – ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS UTILIZADOS DO VXBR E IBOV	33
TABELA 6 – AMPLITUDE DO VALOR PROJETADO DOS DADOS ENCONTRADOS	35
TABELA 7 – RESULTADO DA QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS QUE FICARAM DENTRO E FORA DOS LIMITES DE PREVISÃO	35
TABELA 8 – RESULTADO DA QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS QUE FICARAM DENTRO E FORA DOS LIMITES DE PREVISÃO PARA MERCADOS CALMOS.....	37
TABELA 9 – RESULTADO DA QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS QUE FICARAM DENTRO E FORA DOS LIMITES DE PREVISÃO PARA MERCADOS DE MÉDIOS DE ESTRESSE.....	37
TABELA 10 – RESULTADO DA QUANTIDADE DE OCORRÊNCIAS QUE FICARAM DENTRO E FORA DOS LIMITES DE PREVISÃO MERCADOS DE ALTO DE ESTRESSE	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.2	OPÇÕES DE VENDA E OPÇÕES DE COMPRA	16
2.3	MODELO BLACK & SCHOLES E VOLATILIDADE	18
2.4	METODOLOGIA VXBR.....	20
3	METODOLOGIA DE ANÁLISE E DADOS UTILIZADOS	24
3.1	METODOLOGIA.....	24
3.1.1	HIPÓTESE DA PESQUISA	25
3.1.2	DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE PREVISÃO	25
3.1.3	CÁLCULOS DOS LIMITES DE PREVISÃO	27
3.1.4	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	30
3.2	DADOS UTILIZADOS	33
4	RESULTADOS.....	34
4.1	DESEMPENHO GERAL DAS PREVISÕES	34
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE OS PERÍODOS DE PREVISÃO	35
4.3	ANÁLISE POR NÍVEL DE ESTRESSE DO MERCADO.....	37
4.4	RISCO DE CAUDA	38
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
6	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mercado de capitais brasileiro se encontra em constante transformação e evolução. Segundo relatório de análise da evolução dos investidores de junho de 2024 da B3, empresa responsável pela bolsa de valores brasileira, mostra aumentos crescentes de investidores pessoas físicas. Desde 2020, a base de investidores cresceu mais de 80%. Em março de 2024, atingiu a marca de 5,1 milhões de investidores em renda variável e 16,3 milhões em renda fixa (B3, junho de 2024).

Devido ao crescimento do número de investidores, aumenta a necessidade de novas ferramentas que possam auxiliá-los. Entre essas, destaca-se o índice VIX do Brasil, um indicador de volatilidade do mercado acionário nacional. Seu nome oficial é S&P/B3 Ibovespa VIX e foi lançado em 19 de março de 2024 em parceria com as empresas B3 e S&P (Standard & Poor's). Seu objetivo é medir a volatilidade de curto prazo implícita nos preços das opções do índice Ibovespa B3, que é o principal indicador de desempenho das ações negociadas na B3 e reúne as empresas mais importantes do mercado de capitais brasileiro.

Ao longo do trabalho, como simplificação de seu nome S&P/B3 Ibovespa VIX, será utilizado VXBR que é seu ticker, código usado na bolsa de valores para identificar e negociar um determinado ativo.

A metodologia utilizada no VXBR segue a mesma do VIX S&P 500, com a diferença de que o VXBR utiliza o Ibovespa B3 como índice de base, enquanto o VIX S&P 500 utiliza o S&P 500, um índice ponderado de capitalização de mercado das 500 maiores empresas de capital aberto listadas nas bolsas de valores dos Estados Unidos.

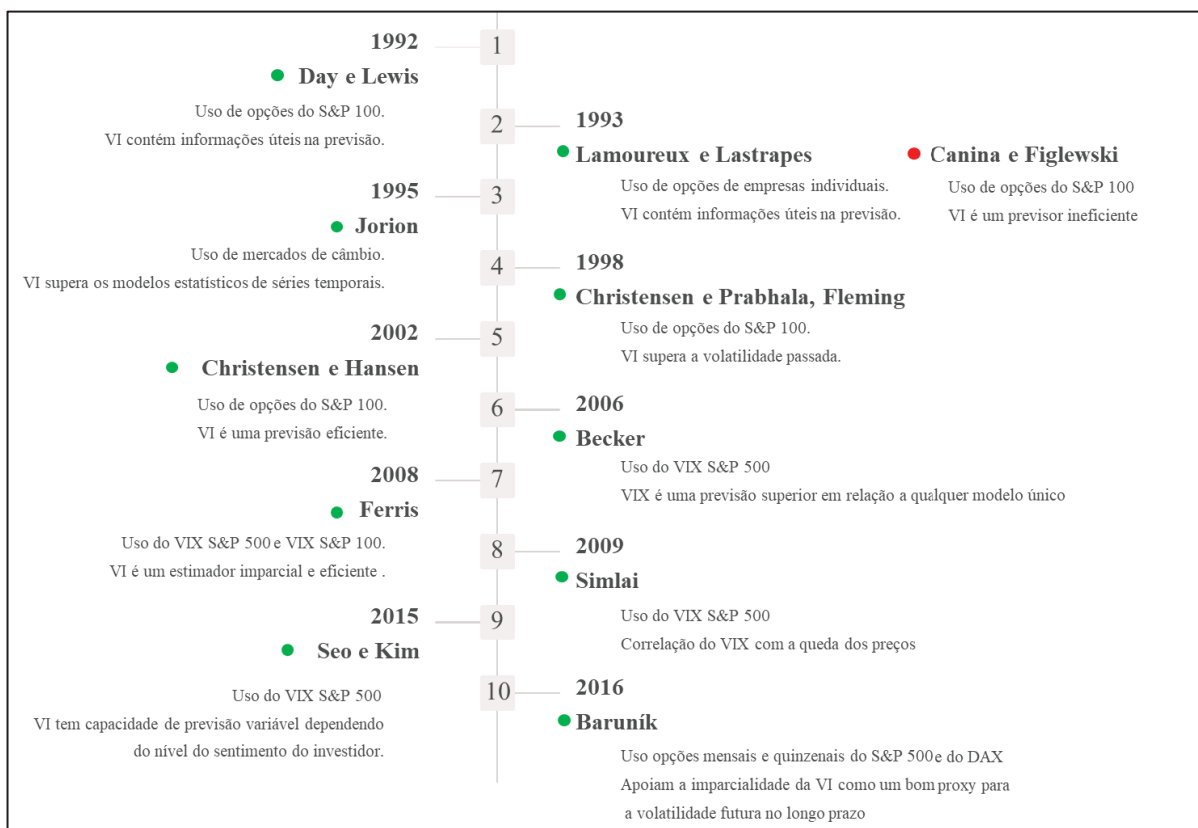
Segundo o site da S&P Dow Jones Indices, desenvolvedor do VIX, informa que o VIX apresenta uma correlação negativa com o desempenho das ações. Normalmente, a volatilidade implícita aumenta quando há turbulência nos mercados ou quando a economia fraqueja. Em contrapartida, quando os preços das ações sobem e não parece provável que ocorram mudanças radicais, o VIX tende a cair ou a se manter estável na parte inferior da sua escala. Por atingir seus maiores valores em períodos de instabilidade, o VIX é frequentemente chamado pela mídia de “índice do medo”, sendo utilizado como um termômetro do sentimento de risco dos investidores.

Segundo Hull (2016), as volatilidades implícitas são usadas para monitorar a opinião do mercado sobre a volatilidade de uma determinada ação. Enquanto as volatilidades históricas estão voltadas para o passado, as implícitas estão voltadas para o futuro. O VXBR reflete a oscilação esperada para o Ibovespa nos próximos 30 dias, para cima ou para baixo.

Diante dessa questão sobre o futuro e da criação desta nova ferramenta no mercado brasileiro, surge o problema que será tratado neste trabalho: a volatilidade implícita medida do índice S&P/B3 Ibovespa VIX é uma boa ferramenta para previsão do intervalo de oscilação do índice Ibovespa B3?

Ao longo das últimas décadas, diversos estudos, tanto no Brasil quanto no exterior, têm se dedicado à investigação da capacidade preditiva das volatilidades implícita e histórica. Os resultados obtidos são variados quanto à sua eficácia, refletindo diferentes abordagens metodológicas e contextos de mercado, o que evidencia a complexidade do tema e reforça a relevância de novas abordagens, como a proposta neste trabalho. A seguir, apresenta-se uma linha do tempo com os principais estudos e um resumo de suas conclusões.

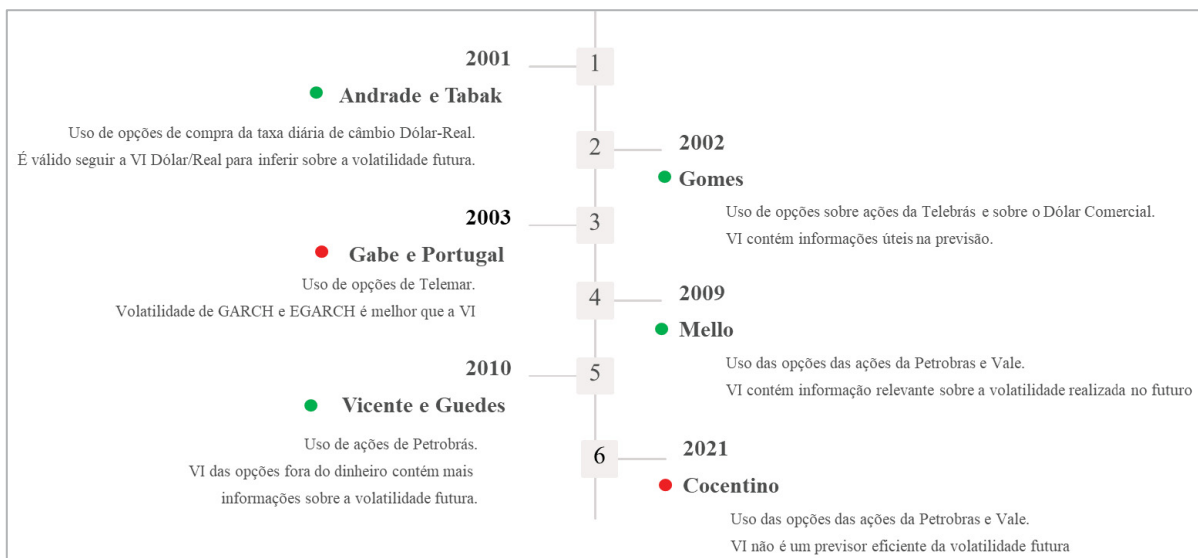
Figura 1 – Linha do tempo de estudos anteriores no contexto internacional



Fonte: O autor (2024)

Nota: Os círculos verdes indicam que os autores tiveram uma conclusão favorável em relação a volatilidade implícita (VI) conter informações úteis na previsão. Os círculos vermelhos indicam que os autores tiveram uma conclusão desfavorável em relação a volatilidade implícita (VI) conter informações úteis na previsão. O S&P 100, um subconjunto do S&P 500, é um índice de ações que representa as 100 maiores empresas globais em termos de capitalização de mercado nos Estados Unidos.

Figura 2 – Linha do tempo de estudos anteriores no contexto brasileiro



Fonte: O autor (2024)

Nota: Os círculos verdes indicam que os autores tiveram uma conclusão favorável em relação a volatilidade implícita (VI) conter informações úteis na previsão. Os círculos vermelhos indicam que os autores tiveram uma conclusão desfavorável em relação a volatilidade implícita (VI) conter informações úteis na previsão.

Observa-se que o tema tem sido amplamente explorado ao longo do tempo, com diferentes resultados sendo obtidos. Embora exista uma ampla literatura sobre volatilidade implícita e VIX S&P 100 e 500, ainda são escassas as análises empíricas sobre o desempenho do VXBR. Este estudo tem como motivação a análise do VXBR, um índice recente para o mercado brasileiro, com o objetivo de compreender se ele pode ser utilizado não apenas como um termômetro do sentimento de mercado brasileiro, mas como uma ferramenta prática para prever o intervalo de oscilação do Ibovespa em diferentes horizontes temporais.

O diferencial deste trabalho está na aplicação de uma metodologia de análise de fácil compreensão e utilização, baseada em dados diários e na conversão da volatilidade anualizada em intervalos de oscilação esperada, permitindo avaliar a assertividade do VXBR em cenários reais. Tal aplicação pode auxiliar os investidores nas tomadas de decisões estratégicas, como a definição de alocação de ativos, calibração de posições em derivativos, ajuste de níveis de risco em carteiras e até mesmo identificar oportunidades de arbitragem. Em um cenário de crescente participação de investidores pessoas físicas e maior exposição à volatilidade, compreender o comportamento do VXBR torna-se essencial para decisões mais informadas e seguras.

O objetivo principal do estudo é verificar se o VXBR é uma boa ferramenta para previsão do intervalo de oscilação do índice Ibovespa ao longo de diferentes períodos. Além disso, se destacam os seguintes objetivos específicos:

1. Apresentar a metodologia de cálculo do VXBR e temas relacionados.
2. Estabelecer períodos de previsão e as datas de referência para a medição.
3. Calcular o intervalo de oscilação esperado do Ibovespa a partir da volatilidade implícita obtida no VXBR para cada período de previsão.
4. Analisar a assertividade em cada um dos períodos de previsão.

Como contribuição deste trabalho, foi verificado que o índice VXBR é uma ferramenta valiosa para prever o intervalo de oscilação do Ibovespa, oferecendo suporte crucial para investidores e analistas na tomada de decisões de investimento. Analisou-se diferentes períodos de previsão, entre maio de 2021 a setembro de 2024. O período de previsão de 30 dias obteve os melhores resultados, com o valor do índice Ibovespa ficando dentro do intervalo de oscilação previsto em 85% das amostras. Quando consideradas apenas as amostras com VXBR superior a 25%, a taxa de acerto foi de 100%. Além disso, esse período também apresentou o menor risco de cauda entre os analisados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos estudos, tanto no Brasil quanto no exterior, têm investigado a capacidade preditiva das volatilidades implícita e histórica em relação à volatilidade futura dos ativos. Os resultados encontrados são variados, refletindo diferentes metodologias, contextos de mercado e ativos analisados.

Day e Lewis (1992), usaram as opções do índice S&P 100, e Lamoureux e Lastrapes (1993), usaram opções de empresas individuais, e concluíram que a volatilidade implícita contém informações úteis na previsão da volatilidade futura, mas também concluíram que modelos de séries temporais contêm informações incrementais à volatilidade implícita.

Canina e Figlewski (1993) conduziram um estudo com as opções do índice S&P100 de março de 1983 a março de 1987, e chegaram à conclusão contrária dos estudos anteriores, de que a volatilidade implícita é um previsor ineficiente da volatilidade futura, o qual tem praticamente uma correlação nula com a volatilidade futura.

Por outro lado, Jorion (1995) encontra evidências mais favoráveis nos mercados de câmbio, onde a volatilidade implícita supera os modelos estatísticos de séries temporais. Christensen e Prabhala (1998) e Fleming (1998) utilizando opções do índice S&P100, descobrem que a volatilidade implícita supera a volatilidade passada na previsão da volatilidade

futura e até mesmo apresenta o conteúdo de informação da volatilidade passada em algumas de suas especificações.

Christensen e Hansen (2002) realizaram várias verificações de robustez, incluindo uma nova abordagem de equações simultâneas, sobre opções de compra e venda no índice S&P 100. Com isto, reforçam a conclusão de que a volatilidade implícita é uma previsão eficiente da volatilidade do retorno realizado.

Becker (2006) utilizam o VIX S&P 500 para suas análises e os resultados indicam que há uma correlação positiva significativa entre o índice VIX e a volatilidade futura. Em um outro artigo escrito pelo autor de 2007, ele constata que o VIX é uma previsão que combina elementos úteis de uma série de modelos de previsão de volatilidade se tornando uma previsão superior em relação a qualquer modelo único. Nessa mesma linha, Ferris (2008), descobre que a volatilidade implícita é um estimador imparcial e eficiente da volatilidade futura realizada.

Simlai (2009) analisa a relação do VIX S&P 500 com o índice de mercado. O modelo apresentado mostra que a alta volatilidade das opções de índice está acompanhando a queda do índice de mercado. Seo e Kim (2015) descobrem que a volatilidade implícita tem capacidade de previsão variável dependendo do nível do sentimento do investidor.

Baruníka (2016), usando os preços de opções mensais e quinzenais do S&P 500 e do DAX apoiam a imparcialidade da volatilidade implícita como um bom proxy para a volatilidade futura no longo prazo.

No contexto brasileiro, foi encontrado autores que também realizaram análise sobre o tema. Andrade & Tabak (2001), com dados das opções de compra da taxa diária de câmbio Dólar-Real, no período de 02 de fevereiro de 1999 a 02 de junho de 2000, concluem que é válido seguir a volatilidade implícita Dólar/Real para inferir sobre a volatilidade futura, pois previsões que somente utilizam retornos passados não são eficientes, no sentido que elas não incorporam toda informação pública disponível. Gomes (2002), analisou o mercado das opções sobre ações da Telebrás e sobre o Dólar Comercial, e as evidências estatísticas mostraram que a volatilidade implícita fornece informações úteis acerca de retornos anormais desses ativos no futuro.

Em contrapartida, Gabe e Portugal (2003), usaram dados sobrepostos do mercado de opções de Telemar no período de 02/10/2000 a 15/10/2002 e encontraram que a volatilidade estimada através de modelos GARCH e EGARCH é um estimador eficiente, não viesado e melhor do que a volatilidade implícita.

Mello (2009), utilizou em sua análise as opções das ações da Petrobrás e Vale, pois eram as mais líquidas da época, os resultados obtidos mostraram que em ambos os casos, a

volatilidade implícita contém informação relevante sobre a volatilidade realizada no futuro. No entanto, também em ambos os casos os previsores são viesados.

Por fim, Vicente e Guedes (2010), em relação às ações de Petrobrás, conclui que a volatilidade implícita das opções fora do dinheiro contém mais informações sobre a volatilidade futura, quando comparada à volatilidade histórica. Já as volatilidades implícitas dentro e no dinheiro, apresentaram fraco poder explanatório da volatilidade futura. Já Cocentino (2021), concluiu que em todos os casos é possível inferir que a volatilidade implícita não é um previsor eficiente da volatilidade futura, sendo considerado também viesado.

2.2 OPÇÕES DE VENDA E OPÇÕES DE COMPRA

Segundo Hull (2016), um derivativo pode ser definido como um instrumento financeiro cujo valor depende (ou deriva) dos valores de outras variáveis subjacentes mais básicas. Muitas vezes, as variáveis por trás dos derivativos são os preços de ativos negociados. Uma opção sobre ações, por exemplo, é um derivativo cujo valor depende do preço de uma ação.

Opções de ações são contratos financeiros que dão ao detentor o direito de comprar ou vender uma ação a um preço pré-determinado dentro de um período específico. Esses contratos são usados para diferentes fins como:

- Fazer proteção da carteira (Hedge);
- Especulação;
- Buscar ganhos rápidos;
- Alavancagem;
- Operações estruturadas.

Existem dois tipos principais de opções de ações:

1. **Opções de compra (*call options*):** Dão ao comprador o direito de comprar a ação subjacente a um preço específico antes ou na data de vencimento do contrato.
2. **Opções de venda (*put options*):** Dão ao comprador o direito de vender a ação subjacente a um preço específico antes ou na data de vencimento do contrato.

O preço específico pelo qual as ações subjacentes podem ser compradas ou vendidas é chamado de preço de exercício (K) e o tempo entre a data presente e a de vencimento do contrato é a duração do contrato ou os dias até o vencimento.

A TABELA 1 abaixo descreve as definições, as condições de lucratividade e premissas direcionais para as opções de compra e de venda.

TABELA 1 - As definições, condições de lucratividade e premissas direcionais para call/puts compradas/vendidas

	Comprado	Vendido
Opção de compra (Call)	Compra do direito de adquirir um ativo-objeto (S) ao preço de exercício (K) antes da data de vencimento.	Vende do direito de adquirir um ativo-objeto (S) ao preço de exercício (K) antes da data de vencimento.
	Os lucros aumentam à medida que o preço do ativo-objeto aumenta acima do preço de exercício ($S > K$).	Os lucros aumentam à medida que o preço do ativo-objeto diminui abaixo do preço de exercício ($S < K$).
	Premissa direcional: Alta	Premissa direcional: Baixa
Opção de venda (put)	Compra do direito de vender de um ativo-objeto (S) ao preço de exercício (K) antes da data de vencimento.	Venda do direito de vender um ativo-objeto (S) ao preço de exercício (K) antes da data de vencimento.
	Os lucros aumentam à medida que o preço do ativo-objeto diminui abaixo do preço de exercício ($S < K$).	Os lucros aumentam à medida que o preço do ativo-objeto aumenta acima do preço de exercício ($S > K$).
	Premissa direcional: Baixa	Premissa direcional: Alta

Fonte: Spina (2024)

Normalmente as opções são classificadas de acordo com o seu valor intrínseco que é a relação entre o preço de exercício e o preço atual do ativo-objeto determinando o valor monetário da posição. As opções podem estar dentro do dinheiro, no dinheiro ou fora do dinheiro (*in the money*, *at the money* ou *out of the money*). Se S é o preço da ação e K é o preço de exercício, uma opção de compra está dentro do dinheiro quando $S > K$, no dinheiro quando $S = K$ e fora do dinheiro quando $S < K$. Uma opção de venda está dentro do dinheiro quando $S < K$, no dinheiro quando $S = K$ e fora do dinheiro quando $S > K$.

Além do valor intrínseco, as opções possuem no seu preço o valor extrínseco, que é a diferença entre o preço de mercado atual da opção e seu valor intrínseco. Esse valor depende de fatores especulativos, impulsionados pela oferta e demanda, ou seja, esse valor é a maneira como os investidores enxergam o potencial de um determinado ativo durante o tempo. Quanto

maior for o valor extrínseco de uma ação maior será o seu risco visto que há mais incertezas na confiança dessa ação.

2.3 MODELO BLACK & SCHOLES E VOLATILIDADE

O modelo de Black & Scholes, também é conhecido como modelo de Black-Scholes-Merton, foi desenvolvido no início da década de 1970 por Fischer Black, Myron Scholes e Robert Merton. O modelo fornece uma estrutura para a precificação de opções. Em 1997, a importância do modelo foi reconhecida quando Robert Merton e Myron Scholes receberam o Prêmio Nobel da economia.

A fórmula de Black-Scholes usa um conjunto de premissas com o objetivo de que o valor da opção dependa apenas de duas variáveis: o preço do ativo subjacente e do tempo. Os demais parâmetros (volatilidade, juros e preço de exercício) são dados como constantes. Conforme o modelo proposto por Black e Scholes (1973), as premissas são as seguintes:

- Não há custos de transação;
- O dinheiro pode ser emprestado em qualquer valor, mesmo fracionário, à taxa livre de risco (a taxa teórica de retorno de um investimento sem risco, uma variável macroeconômica assumida como constante);
- Não há oportunidade de arbitragem (ou seja, lucros acima da taxa livre de risco não podem ser feitos sem risco);
- As ações podem ser compradas e vendidas em qualquer quantidade, mesmo fracionadas;
- Ações não pagam dividendos;
- Os log-retornos das ações seguem o movimento browniano, com desvio e volatilidade constantes (a média teórica e o desvio padrão dos log-retornos anuais).

A fórmula de Black-Scholes usa como base para a derivação a equação do preço de uma ação que segue o movimento browniano geométrico. E como elemento fundamental, ela assume que uma carteira de opções sem risco deve obter a taxa livre de risco em qualquer período de tempo muito curto. Reorganizando os termos, chega-se a seguinte equação de Black-Scholes (1):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + rS \left(\frac{\partial C}{\partial S} \right) + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \left(\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} \right) = rC \quad (1)$$

C = é o preço de uma opção de compra (call) europeia (com uma dependência em S e t);

S = é o preço da ação (com uma dependência em t);

r = é a taxa livre de riscos;

σ = é a volatilidade da ação.

Segundo Hull (2016), essa fórmula (1) tem muitas soluções, correspondentes a todos os derivativos diferentes que podem ser definidos com S como a variável subjacente. O derivativo específico obtido quando a equação é resolvida depende das condições de limite utilizadas. Estas especificam os valores do derivativo nos limites dos valores possíveis de S e t . No caso de uma opção de compra europeia, a condição de limite fundamental é:

$$C = \max(S - K; 0) \text{ quando } t = T \quad (2)$$

Uma das soluções da equação diferencial é a fórmula (3) para o preço da opção de compra abaixo.

$$C = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \quad (3)$$

Onde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (4)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (5)$$

A função $N(x)$ é a função de distribuição de probabilidade cumulativa para uma variável com distribuição normal padrão. Em outras palavras, ela é a probabilidade de que uma variável com distribuição normal padrão será menor do que x .

De modo a auxiliar na interpretação dos termos do Black-Scholes reescreve-se a fórmula conforme equação (6) abaixo.

$$C = e^{-rt} N(d_2) \left[\frac{S_0 e^{rt} N(d_1)}{N(d_2)} - K \right] \quad (6)$$

Os termos aqui têm a seguinte interpretação:

e^{-rt} = Fator de valor presente;

$N(d_2)$ = Probabilidade de exercício;

$e^{rt} N(d_1)/N(d_2)$ = Um mais o aumento percentual esperado no preço da ação em um mundo *risk-neutral* se a opção é exercida;

K = Preço de exercício pago se a opção é exercida.

O único parâmetro das fórmulas de apreçamento de Black–Scholes–Merton que não pode ser observado diretamente é a volatilidade do preço da ação, pois não é possível inverter a equação para que a volatilidade seja expressa como uma função de S_0 , K , r , T e C . Contudo, um procedimento de busca iterativo pode ser utilizado para determinar o valor a partir da observação dos preços de opções no mercado. Essa volatilidade é denominada volatilidade implícita.

Para Spina (2024), a fórmula de Black-Scholes só dá uma estimativa teórica do preço justo de uma opção. Uma vez que o contrato é negociado no mercado de opções, seu preço é frequentemente aumentado ou diminuído, dependendo da especulação e do risco percebido. O desvio do preço de uma opção de seu valor teórico como resultado desses fatores externos é indicativo de volatilidade implícita. Ao valorar inicialmente uma opção, a volatilidade histórica da ação está precificada no modelo. No entanto, quando o preço da opção é negociado acima ou abaixo de seu valor teórico, isso indica que a volatilidade histórica percebida do ativo-objeto se desvia do que é estimado pelos retornos históricos. A volatilidade implícita pode ser a métrica mais importante no trade de opções. Ela é, efetivamente, uma medida do sentimento de risco para um determinado ativo-objeto de acordo com a oferta e demanda de contratos de opções.

2.4 METODOLOGIA VXBR

No arquivo da metodologia do VXBR, fornecido por S&P Dow Jones Índices em acordo com a B3, é informado que o objetivo do índice é refletir a volatilidade prevista do mercado acionário para os próximos 30 dias, utilizando os preços médios das opções de venda (put) e opções de compra (call) sobre o Ibovespa para calcular uma média ponderada da

volatilidade implícita das opções. Este cálculo é feito em tempo real refletindo o sentimento dos investidores (S&P Dow Jones Indices; B3, 2024).

O índice geralmente usa opções de compra e venda de dois vencimentos, na qual será chamado o próximo vencimento como $Venc_{t+1}$ e o vencimento seguinte como $Venc_{t+2}$. O uso de dois vencimentos se faz necessário para abranger um período de 30 dias corridos. Para minimizar as anomalias de precificação que podem ocorrer perto do vencimento, o índice é rolando para os contratos dos meses seguintes quando as opções do $Venc_{t+1}$ têm menos de seis dias úteis para vencer.

Por exemplo, a data de vencimento das opções em maio de 2021 é 21/05/2021 ($Venc_{t+1}$). Seis dias úteis antes, em 13/05/2021, é feita a rolagem, que é uma manobra de investimento utilizada por traders e investidores para estender suas posições em opções existentes. Então, no dia 13/05/2021, há contratos dos vencimentos dos dias 21/05/2021 ($Venc_{t+1}$) e 18/06/2021 ($Venc_{t+2}$). A partir do cancelamento dos contratos de 21/05/2021, passarão a vigorar contratos com vencimentos em 18/06/2021 ($Venc_{t+1}$) e 16/07/2021 ($Venc_{t+2}$).

A volatilidade do $Venc_{t+1}$ σ_1 e a volatilidade do $Venc_{t+2}$ σ_2 são interpoladas para chegar a um único valor σ^2 com um vencimento constante de 30 dias até a expiração. O valor do VIX é calculado usando σ (a raiz quadrada de σ^2) e multiplicando esse valor por 100.

$$VIX = \sigma \times 100$$

$$\sigma^2 = \frac{N_y}{N_m} \left\{ T_1 \sigma_1^2 \left[\frac{N_{T_2} - N_m}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right] + T_2 \sigma_2^2 \left[\frac{N_m - N_{T_1}}{N_{T_2} - N_{T_1}} \right] \right\} \quad (7)$$

onde:

σ = volatilidade implícita de 30 dias;

σ_1 = volatilidade do $Venc_{t+1}$ derivada das opções do $Venc_{t+1}$ (consulte fórmula (9));

σ_2 = volatilidade do $Venc_{t+2}$ derivada das opções do $Venc_{t+2}$ (consulte fórmula (9));

N_y = número de dias em um ano, estabelecidos em 365 para fins deste cálculo;

N_m = número de dias em um mês, estabelecidos em 30 para fins deste cálculo;

T_1 = tempo até o vencimento (em anos) das opções do $Venc_{t+1}$;

T_2 = tempo até o vencimento (em anos) das opções do $Venc_{t+2}$;

N_{T1} = número de dias entre o momento atual e o vencimento das opções do $Venc_{t+1}$;

N_{T2} = número de dias entre o momento atual e o vencimento das opções do $Venc_{t+2}$.

O tempo até o vencimento (T) é medido em anos e é composto de três partes:

N_1 = número fracionário de dias restantes desde o momento de cálculo atual até a meia-noite do dia atual;

$$N_1 = \frac{\text{minutos que faltam para a meia noite do dia atual}}{24 * 60}$$

N_2 = número de dias corridos entre o dia atual e o dia do vencimento;

N_3 = número fracionário de dias desde a meia-noite do dia anterior ao vencimento até o horário de liquidação na data de vencimento (5:00 PM horário brasileiro durante o horário de verão dos EUA, 6:00 PM horário brasileiro durante o horário padrão dos EUA).

$$N_3 = \frac{\text{minutos desde a meia noite até o horário de liquidação no dia do vencimento}}{24 * 60}$$

$$T = \frac{N_T}{N_y} \quad (8)$$

onde:

$N_T = N_1 + N_2 + N_3$ = número de dias até o vencimento da opção;

N_y = número de dias corridos em um ano.

As taxas de juros para o $Venc_{t+1}$ R_1 e o $Venc_{t+2}$ R_2 são obtidas da bolsa de valores B3.

Para o $Venc_{t+1}$ e o $Venc_{t+2}$, respectivamente, as volatilidades implícitas são calculadas usando tanto opções de venda quanto de compra. A fórmula geral é:

$$\sigma^2 = \frac{2}{T} \sum_i \frac{\Delta K_i}{K_i^2} e^{rT} Q(K_i) - \frac{1}{T} \left[\frac{F}{K_0} - 1 \right]^2 \quad (9)$$

onde:

σ = volatilidade implícita;

T = tempo até o vencimento (consulte a fórmula (8));

F = nível do índice a termo (consulte a fórmula (10));

K_i = preço de exercício da opção *ith* fora do dinheiro (*out of the money*);

ΔK_i = intervalo entre os preços de exercício (consulte a fórmula **Erro! Fonte de referência não encontrada.**);

K_0 = preço de exercício mais próximo de F . Se houver dois preços de exercício equidistantes, o menor deles será usado;

R = taxa de juros livre de risco até o vencimento, extraída da curva de juros do Brasil, conforme determinado pela Resolução 2399/97 e Circular 2771/97 do Banco Central;

$Q(K_i)$ = preço intermédio de cada opção com preço de exercício K_i .

O cálculo do nível do índice a termo é feito utilizando a seguinte fórmula:

$$F = K' + e^{RT}(C_{K'} - P_{K'}) \quad (10)$$

onde:

K' = O preço de exercício no qual a diferença entre os preços intermédios das opções de compra e venda é a menor, também chamado de preço de exercício no dinheiro (ATM). Se houver vários pares de opções de compra e venda com a mesma diferença absoluta mínima, então o menor preço de exercício entre eles será selecionado;

$P_{K'}$ = preço intermédio da opção de venda com preço de exercício K' ;

$C_{K'}$ = preço intermédio da opção de compra com preço de exercício K' .

Para selecionar as opções no cálculo da volatilidade:

- Todas as opções são organizadas em ordem crescente segundo seus preços de exercício.
- As opções com preços inválidos são excluídas. O preço de uma opção de compra (venda) é considerado válido somente quando as seguintes condições são atendidas:
 - $0 < \text{preço de compra (bid)} \leq \text{preço de compra (ask)}$;
 - Preço de compra $\leq$ preço de compra K_0 onde o preço de compra K_0 é o preço de compra da opção de compra (venda) com preço de exercício K_0 ;

- Preço de venda $\leq$ preço de venda K_0 onde o preço de venda K_0 é o preço de venda da opção de compra (venda) com preço de exercício K_0 .
- As opções de compra que estão fora do dinheiro são selecionadas. Começando com a opção de compra com o preço de exercício K consecutivamente maior que K_0 e seguindo com os preços de exercício sucessivamente mais altos. Após encontrar duas opções de compra consecutivas com um preço de compra igual a 0, nenhuma opção de compra com um preço de exercício mais alto é considerada.
- As opções de venda que estão fora do dinheiro são selecionadas. Começando com a opção de venda com o preço de exercício K consecutivamente menor que K_0 e seguindo com os preços de exercício sucessivamente mais baixos. Após encontrar duas opções de venda consecutivas com um preço de compra igual a 0, nenhuma opção de venda com um preço de exercício mais baixo é considerada.
- Se o preço de exercício $K = K_0$, o preço médio da opção de venda e da opção de compra são utilizados.

Normalmente, ΔK_i é a metade da distância entre o preço de exercício em qualquer lado de K_i e é calculado da seguinte forma:

$$\Delta K_i = \frac{K_{i+1} - K_{i-1}}{2} \quad (11)$$

Na borda superior e inferior de qualquer faixa de opções, ΔK_i é a diferença entre K_i e o preço de exercício adjacente.

3 METODOLOGIA DE ANÁLISE E DADOS UTILIZADOS

3.1 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo tem como objetivo avaliar a eficácia do índice de volatilidade implícita brasileiro (VXBR) na previsão do intervalo de oscilação do índice Ibovespa. Para isso, foi desenvolvida uma abordagem baseada na aplicação de conceitos estatísticos e financeiros que permitem transformar a volatilidade implícita anualizada em intervalos de variação esperada para o Ibovespa em janelas temporais específicas. A análise parte da coleta de dados históricos diários do VXBR e do Ibovespa, aos quais se aplicam para estimar os limites superior e inferior do intervalo de oscilação esperado. A seguir, detalham-se

os critérios utilizados para a definição dos períodos de previsão e os procedimentos adotados para a validação empírica dos resultados.

3.1.1 Hipótese da pesquisa

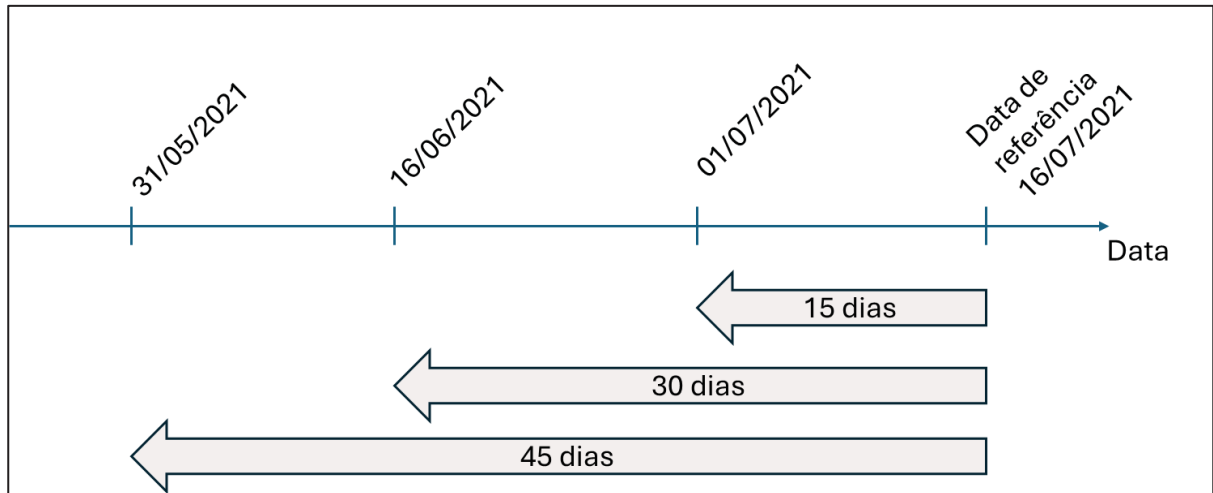
Este estudo parte da hipótese de que o índice de volatilidade implícita brasileiro (VXBR) é um preditor estatisticamente confiável para o intervalo de oscilação do índice Ibovespa em janelas temporais de 45, 30 e 15 dias. A metodologia adotada visa testar essa hipótese por meio da conversão da volatilidade anualizada do VXBR em intervalos de oscilação esperada e da verificação empírica da assertividade dessas projeções. Essa verificação é realizada por meio da quantificação da frequência com que o comportamento real do mercado esteve alinhado com as expectativas derivadas da volatilidade implícita.

3.1.2 Definição dos períodos de previsão

Para a análise, foram definidos três períodos de previsão: 45, 30 e 15 dias corridos, correspondentes a aproximadamente 33, 22 e 11 dias úteis, respectivamente. A data de referência adotada para cada mês foi a terceira sexta-feira, que coincide com o vencimento das opções. A partir dessa data, os dias úteis foram contados retroativamente para determinar os pontos de partida de cada janela de previsão.

Como exemplo, será considerado como data de referência o dia 16/07/2021, correspondente à terceira sexta-feira de julho de 2021. Para o período de previsão de 45 dias, retrocede-se 33 dias úteis a partir dessa data, chegando ao dia 01/06/2021. Da mesma forma, para os períodos de 30 e 15 dias, retrocede-se 22 e 11 dias úteis, resultando nas datas de 16/06/2021 e 01/07/2021, respectivamente. A Figura 3 ilustra esse processo de forma visual.

Figura 3 – Detalhamento visual da definição dos períodos de previsão de 45, 30 e 15 dias



Fonte: O autor (2024)

Nota: A data de referência é a data de vencimento das opções (terceira sexta-feira de cada mês). Para o período de previsão de 45 dias, retrocede-se 33 dias úteis a partir dessa data, chegando ao dia 01/06/2021. Da mesma forma, para os períodos de 30 e 15 dias, retrocede-se 22 e 11 dias úteis, resultando nas datas de 16/06/2021 e 01/07/2021, respectivamente.

As fórmulas (12), (13) e (14) demonstram o cálculo utilizado para encontrar as datas de início para cada período de previsão.

$$D_{45} = D_{ref} - 33 \text{ dias úteis} \quad (12)$$

$$D_{30} = D_{ref} - 22 \text{ dias úteis} \quad (13)$$

$$D_{15} = D_{ref} - 11 \text{ dias úteis} \quad (14)$$

onde:

D_{ref} = Data de referência, sendo a terceira sexta-feira de cada mês;

D_{45} = Data de início para o período de previsão de 45 dias;

D_{30} = Data de início para o período de previsão de 30 dias;

D_{15} = Data de início para o período de previsão de 15 dias.

Após obter a data de início para cada período, é verificado o valor de fechamento do VXBR e do IBOV nestas datas. Dando continuidade ao exemplo anterior, apresenta-se na TABELA 2 os valores encontrados.

TABELA 2 – Valores de fechamento do índice Ibovespa e VXBR das datas de início para cada período de previsão

Período de previsão	Data resultante	Valor de fechamento do Ibovespa (pontos)	Valor de fechamento do VXBR (%)
P_{d+45}	31/05/2021	126216	21,01
P_{d+30}	16/06/2021	129259	21,57
P_{d+15}	01/07/2021	125666	23,31

Fonte: O autor (2024)

Nota: Valores de fechamento do Ibovespa e VXBR nas datas de início para os períodos de 45, 30 e 15 dias de previsão, calculadas a partir da data de referência 16/07/2021. P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

3.1.3 Cálculos dos limites de previsão

Sendo o VXBR uma medida anualizada da volatilidade implícita, sua aplicação na previsão do comportamento futuro do Ibovespa exige a conversão dessa medida para diferentes horizontes temporais. Assim, a variação esperada é obtida multiplicando-se o valor do índice Ibovespa pelo valor do VXBR e pela raiz quadrada da razão entre o número de dias corridos do período analisado e 365, conforme fórmula (15). O resultado representa a amplitude esperada de oscilação do índice dentro de um desvio padrão, assumindo uma distribuição normal dos dados. Essa medida é fundamental para a construção do *cone de previsão*, pois define os limites superior e inferior do intervalo de oscilação para o Ibovespa em cada horizonte temporal analisado.

$$AO_{xx} = IBOV_{D_{xx}} \times VXBR_{D_{xx}} \times \sqrt{\frac{n}{365}} \quad (15)$$

onde:

AO_{xx} = Amplitude de Oscilação do período xx para 1σ ;

$IBOV_{D_{xx}}$ = Valor de fechamento do Ibovespa em pontos na data de início do período;

$VXBR_{D_{xx}}$ = Valor de fechamento do VXBR na data de início do período;

n = número de dias corridos do período.

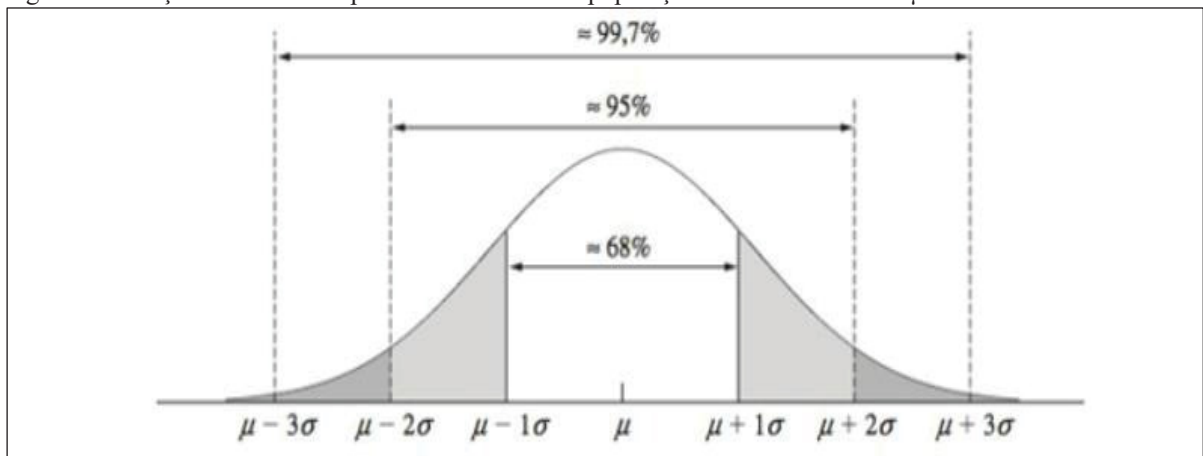
Conforme destacado acima, foi assumido que os dados seguem uma distribuição normal, o que é uma hipótese comum em modelos financeiros clássicos, como o modelo de Black-Scholes, e permite a aplicação direta de conceitos estatísticos como o desvio padrão para a construção de intervalos de confiança. Nesse contexto, adotou-se a medida de um desvio

padrão (1σ), que, segundo a teoria da distribuição normal, abrange aproximadamente 68,2% das observações em torno da média. Essa escolha fornece uma base probabilística clara para a análise preditiva. No entanto, reconhece-se que eventos extremos, conhecidos como riscos de cauda, podem ocorrer com maior frequência do que o previsto pela distribuição normal. Essa limitação é abordada na análise específica de risco de cauda apresentada neste trabalho.

Outra observação que vale ressaltar, diz respeito a função de densidade de probabilidade que utiliza em seu cálculo a média das amostras. Nesse estudo, optou-se por utilizar apenas o valor do fechamento nas datas definidas, pois entende-se que temos o sentimento do mercado naquele momento específico. No entanto, reconhece-se que, em futuras pesquisas, a utilização da média dos valores de fechamento ao longo de um período pode enriquecer a análise.

Na figura abaixo, observa-se que aproximadamente 68% das ocorrências estão dentro de um desvio padrão em torno da média. Para dois desvios padrões, há 95%, e para três desvios padrões, 99,7% das ocorrências.

Figura 4 – Função densidade de probabilidade de uma população normal com média μ e variância σ^2



Fonte: Navidi (2012)

Com os dados de fechamento do Ibovespa e VXBR obtidos anteriormente no exemplo do tópico anterior, é calculado a amplitude de oscilação para cada período, conforme cálculos (16);(17) e (18) abaixo.

- **P_{D+45} (período de 45 dias)**

$$AO_{45} = 126216 \times 0,2101 \times \sqrt{\frac{45}{365}} \cong \pm 9311 \quad (16)$$

- **P_{D+30} (período de 30 dias)**

$$AO_{30} = 129259 \times 0,2157 \times \sqrt{\frac{30}{365}} \cong \pm 7993 \quad (17)$$

- **P_{D+15} (período de 15 dias)**

$$AO_{15} = 125666 \times 0,2331 \times \sqrt{\frac{15}{365}} \cong \pm 5938 \quad (18)$$

Após obter o valor da amplitude de oscilação, utiliza-se as fórmulas (19) e (20) para encontrar os limites superior e inferior de previsão do intervalo de oscilação.

$$Lim_{sup_{xx}} = IBOV_{xx} + AO_{xx} \quad (19)$$

$$Lim_{inf_{xx}} = IBOV_{xx} - AO_{xx} \quad (20)$$

onde:

$Lim_{sup_{xx}}$ = Limite superior de previsão da oscilação para 1σ para o período;

$Lim_{inf_{xx}}$ = Limite inferior de previsão da oscilação para 1σ para o período;

$IBOV_{xx}$ = Valor de fechamento do Ibovespa em pontos na data de início do período;

AO_{xx} = Amplitude de Oscilação do período para 1σ .

A TABELA 3 apresenta o resultado da amplitude e dos limites superior e inferior de previsão da oscilação para os respectivos períodos.

TABELA 3 – Resultados da amplitude e dos limites superior e inferior de previsão da oscilação, calculadas a partir da data de referência 16/07/2021.

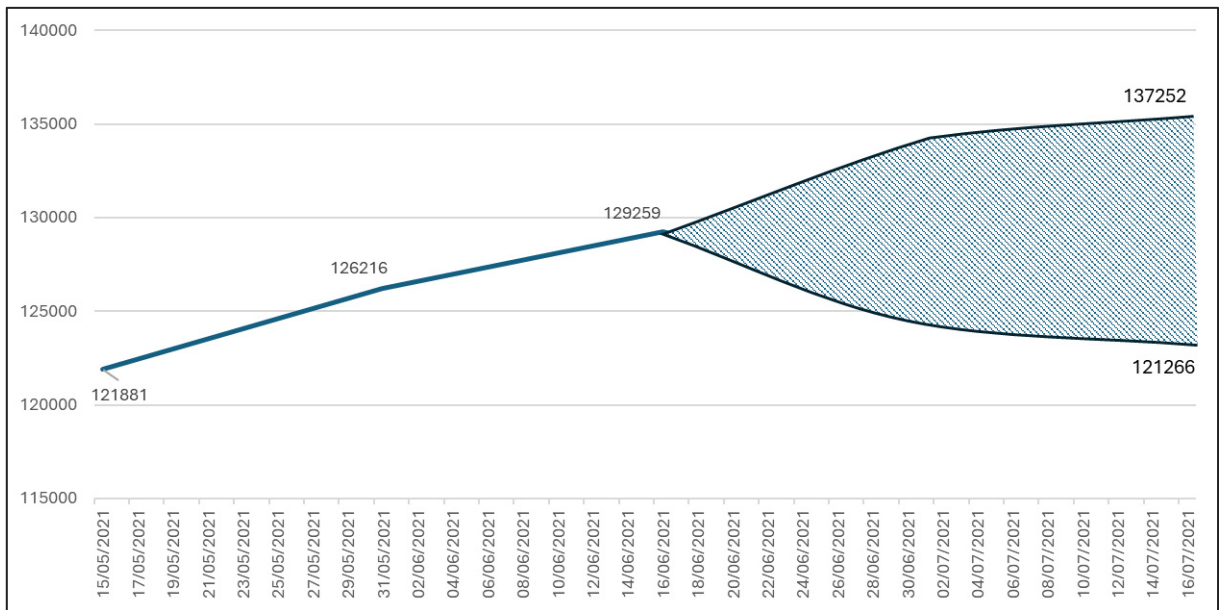
Período de previsão	Amplitude de oscilação (pontos)	Limite (pontos)	
		Superior	Inferior
P _{D+45}	±9311 (±7,4%)	135527	116905
P _{D+30}	±7993 (±6,2%)	137252	121266
P _{D+15}	±5938 (±4,7%)	131604	119728

Fonte: O autor (2024)

Nota: Amplitude de oscilação é obtida multiplicando-se o valor do índice Ibovespa pelo valor do VXBR e pela raiz quadrada da razão entre o número de dias corridos do período analisado e 365, conforme fórmula (15). O limite inferior e superior da previsão de oscilação é calculado a partir do valor obtido da amplitude, conforme fórmulas (19) e (20). P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

Para facilitar a compreensão dos resultados, o intervalo de oscilação previsto para cada período analisado pode ser representado graficamente. Devido a forma geométrica que essa representação gráfica assume, ao se traçar um intervalo de variação do ponto de referência (preço de fechamento) até os limites inferior e superior, que tendem a se expandir ao longo do tempo, denomina-se cone de previsão do intervalo de oscilação do Ibovespa. Na Figura 5 apresenta o cone correspondente para o período de previsão de 30 dias.

Figura 5 – Gráfico do Ibovespa com o cone de previsão para o período de 30 dias iniciando em 16/06/2021.



Fonte: O autor (2024)

Nota: No dia 16/06/2021, o índice Ibovespa fechou em 129.259 pontos, enquanto o VXBR registrou 21,57%. Com base nesses valores, foi calculada a amplitude de oscilação (15) e os limites superior e inferior de previsão de oscilação (fórmulas(19)(20) para o período de previsão de 30 dias. O resultado foi um intervalo estimado, com um desvio padrão, entre 121.266 e 137.252 pontos na data de 16/07/2021. Esse intervalo é representado graficamente como o cone de previsão, destacado com hachuras na figura.

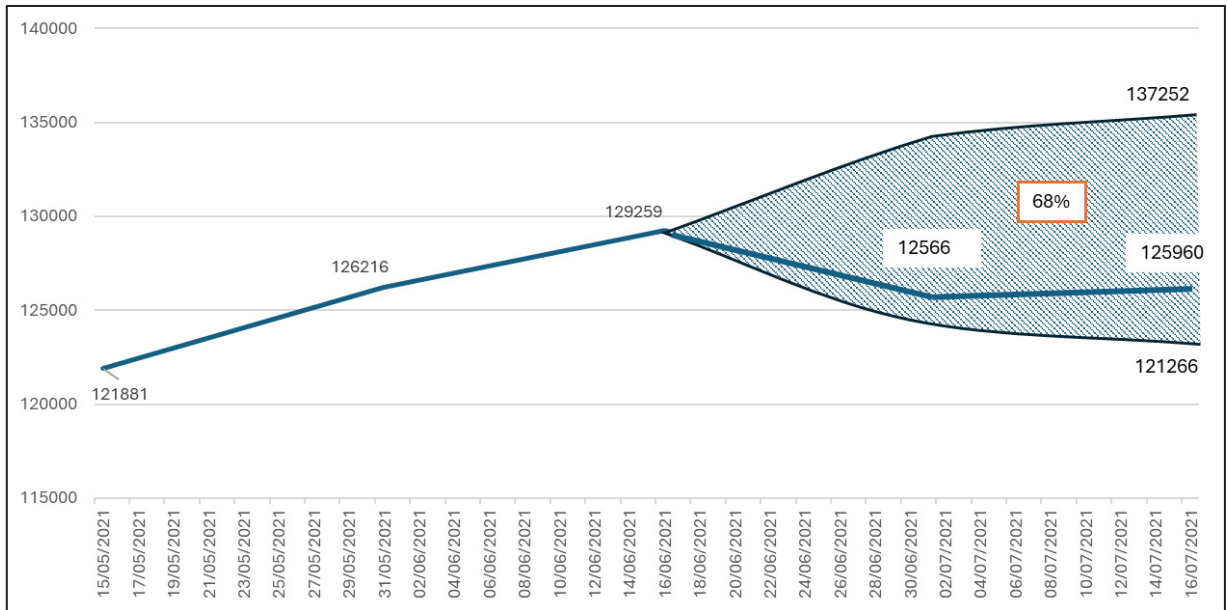
3.1.4 Critérios de avaliação

Após a definição dos períodos de previsão e o cálculo dos intervalos de oscilação esperados com base na volatilidade implícita do VXBR, o próximo passo consiste em avaliar a assertividade dessas projeções. Para isso, foi verificado se o valor de fechamento do índice Ibovespa, na data de referência (terceira sexta-feira de cada mês), permaneceu dentro dos limites superior e inferior estimados para cada um dos períodos analisados: 15, 30 e 45 dias.

Essa verificação permite quantificar a frequência com que o comportamento real do mercado esteve alinhado com as expectativas derivadas da volatilidade implícita, além de comparar essa frequência com a probabilidade teórica de 68,2% associada a um desvio padrão

em uma distribuição normal. A análise foi conduzida de forma independente para cada horizonte temporal, possibilitando a comparação entre os períodos e a identificação daquele que apresenta maior precisão preditiva.

Figura 6 – Gráfico do Ibovespa com o cone de previsão para o período de 30 dias iniciando em 16/06/2021 e os valores de fechamento do Ibovespa



Fonte: O autor (2024)

Nota: No dia 16/06/2021, o índice Ibovespa fechou em 129.259 pontos, enquanto o VXBR registrou 21,57%. Com base nesses valores, foi calculada a amplitude de oscilação (15) e os limites superior e inferior de previsão de oscilação (fórmulas(19)(20) para o período de previsão de 30 dias. O resultado foi um intervalo estimado, com um desvio padrão, entre 121.266 e 137.252 pontos na data de 16/07/2021. Esse intervalo é representado graficamente como o cone de previsão, destacado com hachuras na figura. Os valores de fechamento após a data do dia 16/06/2021 também foram plotados, e observa-se que permanecem dentro dos limites do cone de previsão.

Na Figura 6, observa-se que o valor de fechamento do índice Ibovespa, na data de referência (16/07/2021), permaneceu dentro dos limites superior e inferior estimados, indicando que o comportamento real do mercado esteve alinhado com as expectativas derivadas do VXBR. Além disso, conforme apresentado na tabela a seguir, os valores de fechamento para os períodos de 15 e 45 dias também se mantiveram dentro dos respectivos intervalos projetados.

TABELA 4 – Resultado da análise para os períodos de previsão de 15, 30 e 45 dias na data 16/07/2021.

Período de previsão	Limites (pontos)		Valor de fechamento do Ibovespa em 16/07/2021 (pontos)	Resultado da análise (dentro ou fora do cone de previsão)
	Superior	Inferior		
P _{D+45}	135527	116905	125960	<i>Dentro</i>
P _{D+30}	137252	121266		<i>Dentro</i>
P _{D+15}	131604	119728		<i>Dentro</i>

Fonte: O autor (2024)

Nota: No dia 16/07/2021, o índice Ibovespa fechou em 125960 pontos ficando dentro do cone de previsão para os três períodos analisados (15,30 e 45 dias). P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

Dando continuidade à análise, os resultados também foram segmentados de acordo com diferentes faixas de valores do VXBR. Foram consideradas três categorias, classificando os mercados como: calmos ($VXBR < 20$), com estresse moderado ($20 \leq VXBR < 25$) e com alto estresse ($VXBR \geq 25$). Essa segmentação foi definida com base na média do VXBR observada nos dados analisados, que foi de 22,24%, adotando-se uma variação aproximada de $\pm 10\%$ em torno desse valor. No exemplo apresentado, os três períodos de previsão se enquadram na faixa de estresse moderado, uma vez que os valores de VXBR registrados foram 21,01%, 21,57% e 23,31%, respectivamente.

Nos casos em que o valor de fechamento do Ibovespa ultrapassou os limites do cone de previsão, foram avaliados tanto o número de ocorrências quanto a magnitude desses desvios. Essa abordagem permitiu mensurar o chamado risco de cauda, a probabilidade de ocorrência de eventos extremos que não são capturados pela variação esperada teórica, assumida com base em uma distribuição normal. Ao quantificar esses desvios, é possível compreender melhor a intensidade do risco associado a movimentos inesperados do mercado.

Para realizar a análise, foi calculada a diferença, em pontos, entre o valor de fechamento do Ibovespa e o limite mais próximo do intervalo de previsão (superior ou inferior). Essas diferenças foram então agrupadas em faixas de 1.000 pontos, variando de 0 a 10.000, com o objetivo de identificar a frequência de ocorrência de diferentes magnitudes de desvios. Os dados foram organizados em um gráfico de barras, permitindo visualizar a distribuição dos desvios e, consequentemente, a intensidade do risco de cauda para cada período de previsão (45, 30 e 15 dias).

3.2 DADOS UTILIZADOS

Para esse estudo, foi utilizado os dados diários do índice S&P/B3 Ibovespa VIX e índice Ibovespa do período de maio 2021 a setembro de 2024. A escolha desse intervalo se deve à disponibilidade de dados históricos do VXBR, que, embora tenha sido oficialmente lançado em 18 de março de 2024, possui uma série histórica retroativa disponibilizada pela S&P Dow Jones Índices em parceria com a B3.

É importante destacar que o S&P Dow Jones Índices LLC informa que os valores antes da data de lançamento são submetidos a um *back-test* de desempenho hipotético, e não de desempenho real, e são baseadas na metodologia do índice em vigor na data de lançamento aplicada retroativamente.

Os dados foram obtidos por meio de fontes oficiais e confiáveis, garantindo a integridade e a consistência das informações utilizadas. A base de dados contempla as cotações diárias de fechamento do índice Ibovespa, em pontos. E os valores diários do VXBR, expressos em percentual anualizado.

A TABELA 5 apresenta uma análise descritiva dos dados utilizados.

TABELA 5 – Análise descritiva dos dados utilizados do VXBR e IBOV

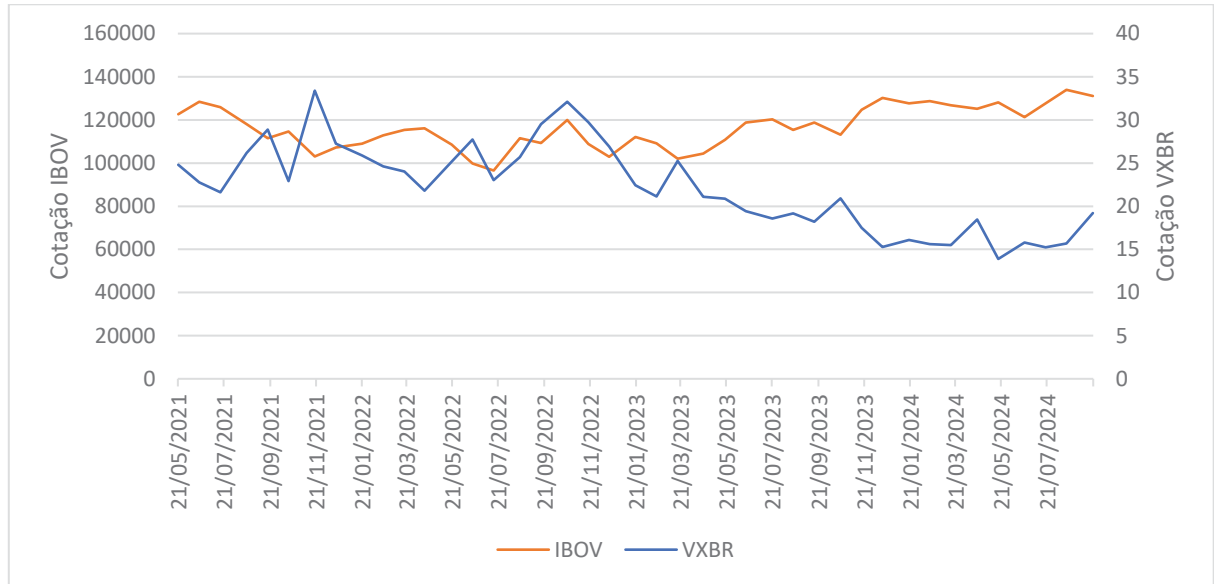
VXBR		IBOV	
Média	22,24	Média	116632,22
Erro padrão	0,16	Erro padrão	331,35
Mediana	22,03	Mediana	115963,00
Modo	24,80	Modo	121801,00
Desvio padrão	4,70	Desvio padrão	9728,53
Variância da amostra	22,09	Variância da amostra	94644235,72
Curtose	-0,64	Curtose	-1,00
Assimetria	0,28	Assimetria	0,08
Intervalo	21,77	Intervalo	41223,00
Mínimo	13,62	Mínimo	96121,00
Máximo	35,39	Máximo	137344,00
Soma	19171,19	Soma	100536972,00
Contagem	862,00	Contagem	862,00
Nível de confiança (95,0%)	0,31	Nível de confiança (95,0%)	650,36

Fonte: O autor (2024) e dados históricos obtidos em *Investing.com*.

A análise descritiva revela que o VXBR apresentou uma média de 22,24% no período analisado, com desvio padrão de 4,70%, indicando variações moderadas na percepção de risco do mercado. Já o Ibovespa apresentou média de 116.632 pontos, com uma dispersão significativa, refletindo os diferentes ciclos econômicos e eventos que impactaram o mercado brasileiro entre 2021 e 2024.

O Gráfico 1 – Cotação diária IBOV e VXBR entre o período de maio 2021 a setembro de 2024, a seguir, apresenta a cotação do IBOV e do VXBR entre os períodos analisados, permitindo observar a relação entre seus movimentos.

Gráfico 1 – Cotação diária IBOV e VXBR entre o período de maio 2021 a setembro de 2024



Fonte: O autor (2024) e dados históricos obtidos em *Investing.com*.

Nota-se no Gráfico 1 que, à medida que o VXBR aumenta, refletindo maior percepção de risco e incerteza no mercado, o Ibovespa tende a apresentar queda. Essa relação inversa é coerente com a informação divulgada pela S&P Dow Jones Índices, segundo o qual o VIX possui uma correlação negativa com o desempenho das ações, que associa aumentos na volatilidade implícita a movimentos de aversão ao risco por parte dos investidores.

4 RESULTADOS

4.1 DESEMPENHO GERAL DAS PREVISÕES

O período analisado neste estudo compreende de maio de 2021 a setembro de 2024, totalizando 39 meses. Como informado anteriormente, foi utilizado a terceira sexta-feira de cada mês como data de referência. Para cada uma dessas datas, foram realizadas previsões com base em três janelas temporais distintas: 15, 30 e 45 dias corridos retroativos à data de referência. Dessa forma, foram conduzidas 39 análises para cada período de previsão, resultando em um total de 117 observações. Inicialmente, analisou-se a amplitude dos valores projetados, que

pode ser compreendida como a abertura do cone de previsão, ou seja, a distância entre os limites superior e inferior estimados para o índice Ibovespa. A TABELA 6 apresenta os valores máximos, médios e mínimos dessa amplitude para cada período analisado.

TABELA 6 – Amplitude do valor projetado dos dados encontrados

	P_{D+15}	P_{D+30}	P_{D+45}
Máximo	±6771 (±6,3%)	±10001 (±8,7%)	±13268 (±12,1%)
Média	±5184 (±4,5%)	±7282 (±6,4%)	±9041 (±7,9%)
Mínimo	±3563 (±2,8%)	±5335 (±4,2%)	±6513 (±5,2%)

Fonte: O autor (2024)

Nota: A amplitude dos valores projetados pode ser compreendida como a abertura do cone de previsão, ou seja, a distância entre os limites superior e inferior estimados para o índice Ibovespa. A tabela apresenta os valores máximo, médio e mínimo dessa abertura para cada período de previsão analisado.

Observa-se na TABELA 6 que, à medida que o período de previsão aumenta, a amplitude projetada, tanto máxima quanto média e mínima, também se eleva. Esse comportamento indica uma maior variação esperada do Ibovespa em horizontes temporais mais longos.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS PERÍODOS DE PREVISÃO

Dando continuidade à análise, verificou-se a quantidade de ocorrências em que o valor do Ibovespa permaneceu dentro ou fora dos limites de previsão. Os casos fora da faixa foram classificados em dois grupos: acima do limite superior e abaixo do limite inferior. A TABELA 7 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 7 – Resultado da quantidade de ocorrências que ficaram dentro e fora dos limites de previsão

	P_{D+15}	P_{D+30}	P_{D+45}
Quantidade dentro do limite de previsão	30	33	26
Quantidade fora e acima do limite superior	6	5	7
Quantidade fora e abaixo do limite inferior	3	1	6
Frequência da assertividade da previsão	77%	85%	67%

Fonte: O autor (2024)

Nota: P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

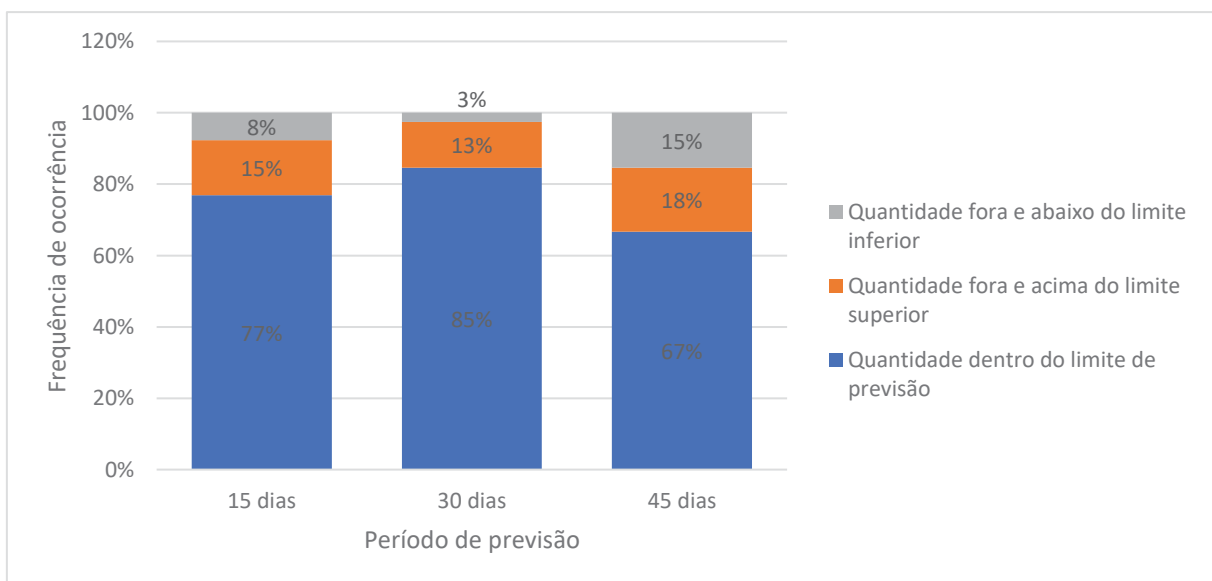
Os resultados da TABELA 7 indicam que a precisão das previsões varia conforme o período analisado. No entanto, para todos os períodos analisados, a frequência de assertividade ficou superior ou bem próximos de 68,2%, conforme a teoria da distribuição normal. Com isso, pode-se dizer que o VXBR se apresenta como um bom preditor para o intervalo de oscilação do Ibovespa, pois, para os dados utilizados, a frequência de assertividade ficou superior da frequência teórica esperada.

Para o período de 15 dias, a previsão foi precisa em 77% dos casos, com 30 valores dentro dos limites de previsão. Houve 6 casos em que os valores ficaram acima do limite superior e 3 casos em que ficaram abaixo do limite inferior. Isso sugere que, para previsões de curto prazo, o mercado tende a prever variações maiores do que as que realmente ocorrem.

Para o período de 30 dias, a previsão foi ainda mais precisa, com uma taxa de 85% de valores dentro dos limites de previsão. Apenas 5 valores ficaram acima do limite superior e 1 valor ficou abaixo do limite inferior. Este período apresentou a maior precisão entre os três analisados, tendo uma precisão 17% maior do que a teoria nos sugere.

Para o período de 45 dias, a precisão diminuiu para 67%, com 26 valores dentro dos limites de previsão. Mesmo tendo para este período uma amplitude maior dos limites projetados, houve 7 casos de valores acima do limite superior e 6 casos de valores abaixo do limite inferior. Isso mostra que, para previsões de longo prazo, a incerteza aumenta, resultando em uma maior quantidade de desvios.

Gráfico 2 – Frequência de ocorrência para cada período de previsão



Fonte: O autor (2024)

Nota: O período de 30 dias foi período apresentou a maior precisão entre os três analisados. A frequência de assertividade ficou em 85%.

4.3 ANÁLISE POR NÍVEL DE ESTRESSE DO MERCADO

Foi separado os períodos quanto ao nível de estresse do mercado de acordo com seu valor de VXBR. Classificando os mercados como calmos ($VXBR < 20$), médios de estresse ($20 \leq VXBR < 25$) e como alto de estresse ($VXBR \geq 25$). As TABELAS 8, 9 e 10 apresentam os resultados encontrados.

TABELA 8 – Resultado da quantidade de ocorrências que ficaram dentro e fora dos limites de previsão para mercados calmos

VIX < 20	P_{D+15}	P_{D+30}	P_{D+45}
Quantidade dentro do limite de previsão	12	11	9
Quantidade fora e acima do limite superior	2	3	2
Quantidade fora e abaixo do limite inferior	0	0	1
Frequência da assertividade da previsão	86%	79%	75%

Fonte: O autor (2024)

Nota: P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

TABELA 9 – Resultado da quantidade de ocorrências que ficaram dentro e fora dos limites de previsão para mercados de médios de estresse

20 ≤ VIX < 25	P_{D+15}	P_{D+30}	P_{D+45}
Quantidade dentro do limite de previsão	9	10	8
Quantidade fora e acima do limite superior	4	2	3
Quantidade fora e abaixo do limite inferior	1	1	4
Frequência da assertividade da previsão	64%	77%	53%

Fonte: O autor (2024)

Nota: P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

TABELA 10 – Resultado da quantidade de ocorrências que ficaram dentro e fora dos limites de previsão mercados de alto de estresse

VIX ≥ 25	P_{D+15}	P_{D+30}	P_{D+45}
Quantidade dentro do limite de previsão	9	12	9
Quantidade fora e acima do limite superior	0	0	2
Quantidade fora e abaixo do limite inferior	2	0	1
Frequência da assertividade da previsão	82%	100%	75%

Fonte: O autor (2024)

Nota: P_{D+15} = Período de 15 dias; P_{D+30} = Período de 30 dias; P_{D+45} = Período de 45 dias.

Os resultados mostram que a precisão das previsões varia conforme o nível de estresse do mercado. Para mercados calmos (TABELA 8 - $VXBR < 20$), observou-se uma taxa de acerto alta para todos os períodos analisados, com destaque para o período de 15 dias, que apresentou 86% de assertividade. Também se observa que, para os períodos de 15 e 30 dias, não obteve valores fora e abaixo do limite inferior de previsão, indicando que, para mercados calmos, há possivelmente uma tendência de alta no mercado.

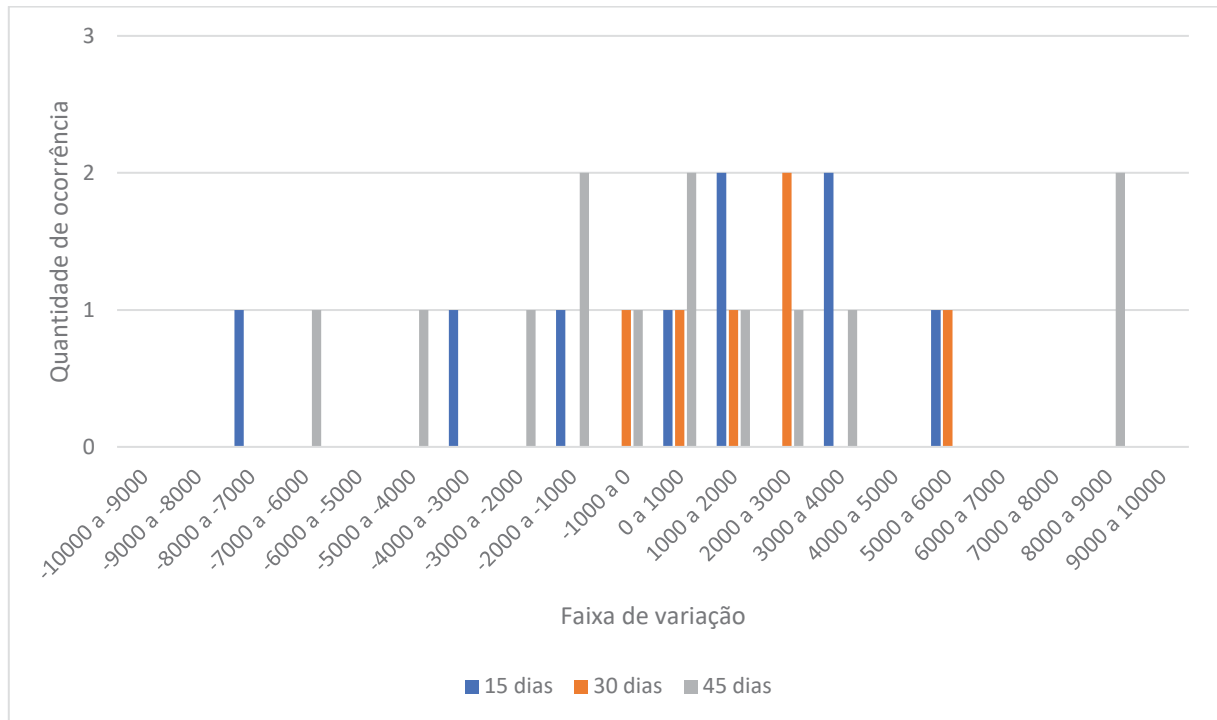
Seria razoável esperar que, à medida que o $VXBR$ aumentasse, a frequência de acertos também se elevasse, uma vez que a ampliação da distância entre os limites superior e inferior ocorre. No entanto, se nota que, quando o $VXBR$ está em um nível médio de estresse (TABELA 9 - $20 \leq VXBR < 25$), a taxa de acerto é baixa, ficando abaixo da expectativa teórica de 68% nos períodos de 15 e 45 dias. Esse comportamento pode refletir um momento de maior incerteza no mercado, em que as projeções se tornam menos confiáveis.

Em mercados de alto estresse (TABELA 10 - $VXBR \geq 25$), a precisão encontrada foi muito alta para período de 30 dias, com 100% de acerto. Para período de 15 dias, a precisão se manteve alta, embora ligeiramente inferior à observada em mercados calmos. Já para o período de 45 dias, a taxa de acerto foi equivalente para o mercado com alto estresse e calmo. Com o aumento do medo, representado por um $VXBR$ alto, se observa que, para o período de 15 e 30 dias, não há ocorrências de valores fora e acima do limite superior, o que pode indicar uma postura mais conservadora dos investidores, com retirada de capital do mercado acionário diante de níveis elevados de volatilidade.

4.4 RISCO DE CAUDA

O risco de cauda refere-se à probabilidade de eventos extremos que não são capturados pela variação esperada teórica. Esses eventos podem resultar em desvios significativos dos preços em relação à previsão, indicando um risco maior do que o previsto pela distribuição normal. A seguir, apresenta-se a quantidade de ocorrências que ficaram fora dos limites de previsão, classificadas de acordo com a magnitude da diferença entre o valor de fechamento do Ibovespa e os limites estimados.

Gráfico 3 – Risco de Cauda para os períodos analisados



Fonte: O autor (2024)

Verifica-se que aproximadamente 80% das variações observadas situam-se na faixa entre -5.000 e +5.000 pontos, totalizando 22 ocorrências. Os 20% restantes correspondem a variações mais acentuadas, com 6 registros. No período de 45 dias, três dessas ocorrências concentram-se nas faixas mais extremas: duas entre 8.000 e 9.000 pontos e uma entre -7.000 e -6.000 pontos. No período de 15 dias, houve uma ocorrência entre 5.000 e 6.000 pontos e outra entre -8.000 e -7.000 pontos. Já no período de 30 dias, foi registrada apenas uma ocorrência na faixa de 5.000 a 6.000 pontos.

A maioria dos eventos extremos se apresentou no período de 45 dias, sugerindo que quanto maior o período, maior a chance de variações significativas, reforçando a importância de considerar o risco de cauda em análises de longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, analisou-se se a volatilidade implícita, medida pelo índice S&P/B3 Ibovespa VIX, constitui uma ferramenta eficaz para a previsão do intervalo de oscilação do índice Ibovespa B3. Utilizando dados diários do período de maio de 2021 a setembro de 2024, avaliou-se a precisão das previsões em diferentes horizontes temporais: 15, 30 e 45 dias.

Os dados históricos mostram que a incerteza percebida no mercado, representada pelo VXBR, tende a superestimar os movimentos realizados do Ibovespa com mais frequência do que o previsto pela teoria. De acordo com a distribuição normal, espera-se que os preços permaneçam dentro dos limites de previsão em aproximadamente 68,2% das vezes. No entanto, para o período de 30 dias, observou-se que 85% dos movimentos permaneceram dentro desses limites entre 2021 e 2024. Isso indica que o mercado superestimou a volatilidade, e o Ibovespa se manteve, com maior frequência, dentro dos limites previstos. Movimentos superiores aos limites ocorreram em apenas 15% dos casos, sugerindo que o VXBR raramente subestima o risco realizado. Para os períodos de 15 e 45 dias, as taxas de acerto foram de 77% e 67%, respectivamente, valores próximos da expectativa teórica, o que evidencia que a precisão das previsões varia conforme o horizonte temporal analisado.

Além disso, as análises indicam que a precisão das previsões também varia conforme o nível de estresse do mercado. Em cenários de mercados calmos ($VXBR < 20$), a assertividade é elevada, com destaque para o período de 15 dias, que apresentou uma taxa de acerto de 85%. Nesses casos, quando ocorrem desvios, observa-se uma tendência de os valores de fechamento do Ibovespa superarem o limite superior da faixa prevista, sugerindo uma tendência de alta em mercados calmos.

Por outro lado, em mercados de médio estresse ($20 \leq VXBR < 25$), a taxa de acerto é baixa, ficando abaixo da expectativa teórica para os períodos de previsão de 15 e 45 dias. Esse resultado pode refletir maior incerteza no mercado. Já em mercados de alto estresse ($VXBR \geq 25$), a assertividade foi muito alta para o período de 30 dias, atingindo 100% de acerto, o que reforça a robustez do modelo em cenários de maior aversão ao risco.

O estudo também destacou a importância de considerar o risco de cauda, que representa a probabilidade de eventos extremos não capturados pela variação esperada teórica. Observou-se que a maioria dos eventos extremos ocorreu no período de 45 dias, sugerindo que quanto maior o período, maior a chance de variações significativas.

Os resultados indicam que o índice VXBR é uma ferramenta valiosa para prever o intervalo de oscilação do índice Ibovespa e pode auxiliar investidores e analistas na tomada de decisões. No entanto, deve-se considerar alguns fatores que podem ter afetado os resultados.

Em 2021, a pandemia de COVID-19 continuou a impactar a economia global, e o Brasil enfrentou desafios como a crise hídrica e energética, além de incertezas políticas e econômicas. Nesse ano, o Ibovespa encerrou com uma queda de aproximadamente 12%. Em 2022, eventos como a guerra na Ucrânia e as eleições presidenciais no Brasil influenciaram o mercado, resultando em uma alta de 4,69% no Ibovespa. O ano de 2023 foi marcado pela

recuperação econômica global, com o Ibovespa fechando em uma alta robusta de 22,28%. Já em 2024, a economia brasileira enfrentou inflação alta e incertezas fiscais.

Outro fator é a utilização de dados de fechamento de mercado, cujo resultado pode diferir quando se utilizam dados intradiários, por exemplo. Além disso, os valores do VXBR anteriores à data de seu lançamento foram submetidos a um *back-test* de desempenho hipotético e estão disponíveis apenas até a data de maio de 2021, limitando o tamanho de nossa amostra.

Portanto, sugerimos que futuros estudos considerem o contexto macroeconômico e geopolítico, utilizem uma amostra maior e apenas dados do VXBR com desempenho real. Também recomendamos a utilização de dados de mercado intradiários como opção.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Sandro C.; TABAK, Benjamin M. Is it Worth Tracking Dollar/Real Implied Volatility? Banco Central do Brasil, Working Papers Series, n. 15, p. 1-25, mar. 2001.

B3. Perfil pessoa física. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/consultas/mercado-a-vista/perfil-pessoas-fisicas/perfil-pessoa-fisica/. Acesso em: 5 nov. 2024.

BANDI, Federico; PERRON, Benoit. Long memory and the relation between implied and realized volatility. *Journal of Financial Economics*, 4(4), 636–670, 2006.

BARUNÍK, J.; HLÍNKOVÁ, M. Revisiting the long memory dynamics of the implied–realized volatility relation: New evidence from wavelet band spectrum regression. *Economic Modelling*, 52, 636-651, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.10.024>

BECKER, R.; CLEMENTS, A.; WHITE, S. On the informational efficiency of S&P 500 implied volatility. *North American Journal of Economics and Finance*, 17, 139–153, 2006.

BECKER, R.; CLEMENTS, A.; WHITE, S. Does implied volatility provide any information beyond that captured in model-based volatility forecasts? *Journal of Banking and Finance*, 31, 2535–2549, 2007.

BECKER, R.; CLEMENTS, A. E.; McCLELLAND, A. The jump component of S&P 500 volatility and the VIX index. *Journal of Banking and Finance*, 33(6), 1033-1038, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2008.10.015>

BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 637–654, 1973.

CANINA, L.; FIGLEWSKI, S. The informational content of implied volatility. *Review of Financial Studies*, 6, 659–681, 1993.

CHRISTENSEN, B.J.; HANSEN, C.H.S. New evidence on the implied-realized volatility relation. *European Journal of Finance*, 8(2), 187–205, 2002.

CHRISTENSEN, B.J.; PRABHALA, N.R. The relation between implied and realized volatility. *Journal of Financial Economics*, 50(2), 125–150, 1998.

COCENTINO, J. F. Volatilidade implícita e histórica: Um estudo acerca do conteúdo informacional em opções de ações. Monografia de Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2021.

DAY, T.; LEWIS, C. Stock market volatility and the information content of stock index options. *Journal of Economics*, 52, 267–287, 1992.

FERRIS, S. P.; KIM, W.; PARK, K. The informational quality of implied volatility and the volatility risk premium. *Applied Economics Letters*, 1-6, 2008. <https://doi.org/10.1080/13504850801935356>

FLEMING, J. The quality of market volatility forecasts implied by S&P 100 index option prices. *Journal of Empirical Finance*, 5, 317–345, 1998.

GABE, J. Volatilidade implícita versus volatilidade estatística: uma avaliação para o mercado brasileiro a partir dos dados de opções e ações da Telemar S.A. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2003.

GOMES, F. P. Volatilidade Implícita e Antecipação de Eventos de Stress: Um Teste para o Mercado Brasileiro. Working Paper Series do Banco Central, n. 38, p. 1–36, 2002.

HULL, John C. Opções, futuros e outros derivativos. 9th ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. E-book. p.366. ISBN 9788582603932.

JORION, P. Predicting volatility in the foreign exchange market. *Journal of Finance*, 50, 507–528, 1995.

INVESTING.COM. S&P/B3 IBOVESPA VIX - Dados históricos. Investing.com, [s.d.]. Disponível em: <https://br.investing.com/indices/s-p-b3-ibovespa-vix-historical-data>. Acesso em: 15 out.. 2024.

INVESTING.COM. Ibovespa (IBOV) - Histórico de Cotações. Investing.com, [s.d.]. Disponível em: <https://br.investing.com/indices/bovespa-historical-data>. Acesso em: 15 out. 2024.

MELLO, A. R. de A. F. Volatilidade implícita das opções de ações: Uma análise sobre a capacidade de previsão do mercado sobre a volatilidade futura (Dissertação de Mestrado). Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, 2009.

NAVIDI, William. Probabilidade e Estatística para Ciências Exatas. Porto Alegre: AMGH, 2012. E-book. p.148. ISBN 9788580550740.

POON, S.-H.; GRANGER, C. W. J. Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of Economic Literature*, 41(2), 478-539, 2003. <https://doi.org/10.1257/002205103765762743>

S&P Dow Jones Indices; B3. Metodologia do índice S&P/B3 Ibovespa VIX. Julho 2024. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/pt/documents/methodologies/methodology-sp-b3-ibovespa-vix-portuguese.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2024.

S&P Dow Jones Indices; B3. S&P Dow Jones Índices e B3 lançam o primeiro índice de volatilidade implícita para o mercado doméstico brasileiro com base na metodologia do índice VIX da Cboe. Nova York, 19 mar. 2024. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/pt/documents/index-news-and-announcements/20240319-spdji-b3-bovespa-vix-pr-pt.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2024.

S&P Dow Jones Indices. Introdução ao VIX. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/pt/vix-intro>. Acesso em: 23 ago. 2025.

SEO, Sung.Won; KIM, Jun.Sik. The information content of option-implied information for volatility forecasting with investor sentiment. *Journal of Banking and Finance*, 50, 106–120, 2015.

SIMLAI, P. What drives the implied volatility of index options? *Journal of Derivatives & Hedge Funds*, 16, 85-99, 2010. <https://doi.org/10.1057/jdhf.2009.20>

SPINA, Julia. O guia do investidor azarado para o trade de opções: um guia acessível para investimentos sustentáveis com uma necessidade mínima de sorte! Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2024. E-book. p.38. ISBN 9788550820231.

VICENTE, M. et al. A Volatilidade implícita contém informações sobre a volatilidade futura? Evidências do mercado de opções de ações da Petrobras. *BBR - Brazilian Business Review*, 28v. 7, n. 1, p. 48–65, 2010.