



**Fabio Henrique Correia de Medeiros**

**Análise do valor de derivativos de criptoativos**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas do Departamento de Administração da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Leonardo Lima Gomes

Rio de Janeiro  
Abril de 2020



**Fabio Henrique Correia de Medeiros**

## **Análise do valor de derivativos de criptoativos**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas do Departamento de Administração da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

**Prof. Leonardo Lima Gomes**

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto**

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Marta Corrêa Dalbem**

Pesquisadora autônoma

Rio de Janeiro, 27 de abril de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Fabio Henrique Correia de Medeiros**

Graduou-se em Gestão Financeira pela Universidade Estácio de Sá em 2010. Possui MBA em Administração Estratégica pela Universidade Estácio de Sá em 2014, MBA em Gestão de Investimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro em 2015, e MBA Internacional - Programa de Dupla Diplomação pela Católica Porto Business School, Portugal, em 2015. É funcionário de carreira do Banco do Brasil S/A. Tem experiência na área de administração de empresas, com ênfase em finanças e investimentos.

#### Ficha Catalográfica

Medeiros, Fabio Henrique Correia de

Análise do valor de derivativos de criptoativos / Fabio Henrique Correia de Medeiros ; orientador: Leonardo Lima Gomes. – 2020.

89 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2020.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Criptoativo. 3. Criptomoeada. 4. Derivativos. 5. Mercado futuro. 6. Opções. I. Gomes, Leonardo Lima. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Para minha mãe, Maria Emília, e meu pai, Geraldo (*in memoriam*), por serem os exemplos de vida que me inspiram a ser uma pessoa melhor.

## Agradecimentos

À minha mãe, Maria Emilia, por sempre me dar todo o apoio ao seu alcance, sem o qual este trabalho não se tornaria uma realidade.

Ao meu pai, Geraldo (*in memoriam*), por continuar sendo minha maior fonte de inspiração, mesmo após sua partida.

Ao Banco do Brasil, pelo auxílio prestado durante toda minha carreira.

Ao professor Leonardo Lima e à todos os meus professores do IAG da PUC-Rio, pelos ensinamentos que me passaram ao longo da caminhada desse Mestrado.

À Bruna, minha companheira, por ter me apoiado sempre que precisei, cuidando da nossa filha, Manu.

À minha filha Manu, por ser a minha fonte diária de energia, de vida, o meu futuro, o meu maior presente.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## Resumo

Medeiros, Fabio Henrique Correia de. Gomes, Leonardo Lima. **Análise do valor de derivativos de criptoativos**. Rio de Janeiro, 2020. 89 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este estudo visa verificar se a utilização de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos para a realização da análise do mercado de criptoativos geram resultados coerentes com valores praticados pelo mercado. Após o advento dos criptoativos, diversas *exchanges* iniciaram negociações de derivativos, e com isso surgiu um novo desafio para precificação, tendo em vista se tratar de um ativo objeto novo, com grande potencial de valorização e incertezas. Foi realizada pesquisa qualitativa através do método de levantamento de corte transversal. Foram analisadas séries de preços à vista e futuros de bitcoin, além de histórico de negócios realizados com opções de bitcoin no recorte temporal entre 14 de novembro de 2016 e 20 de abril de 2020. Testes estatísticos validaram a o comportamento da série de preços de bitcoin como similar ao Movimento Geométrico Browniano. A premissa de lognormalidade dos retornos da série de preços de bitcoin para utilização das fórmulas de Black-Scholes-Merton foi relaxada. Os resultados comparativos da precificação teórica de contratos futuros de bitcoin com preços futuros praticados pelo mercado mostraram que houve cobrança de prêmios, indo ao encontro das teorias *backwardation* normal, *contango*, e hipótese da proteção líquida. Os resultados comparativos entre a utilização de volatilidades históricas e implícitas para precificação de opções através das fórmulas de Black-Scholes-Merton mostraram que, apesar de choques terem impactado o poder de previsão das volatilidades históricas, pode-se identificar características de reversão à média nos gráficos de volatilidades implícitas. Para opções com vencimentos longos, as volatilidades históricas aparentaram possuir certa validade como preditoras.

## Palavras-chave

Criptoativo; criptomoeada; derivativos; mercado futuro; opções.

## Abstract

Medeiros, Fabio Henrique Correia de; Gomes, Leonardo Lima (Advisor). **Value analysis of cryptoassets derivatives.** Rio de Janeiro, 2020. 89 p. Master Dissertation – Administration Department, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of the study is to verify whether the use of traditional derivative pricing tools for the analysis of the crypto market generates coherent results with values practiced by the market. After the advent of cryptoassets, several exchanges started derivatives trading, and a new pricing challenge arose, considering that it is a new object asset, with great potential for appreciation and uncertainty. Qualitative research was carried out applying the cross-sectional survey method. Time series of bitcoin spot and futures prices were analyzed, as well as history of trades carried out with bitcoin call options in the time frame between November 14, 2016 and April 20, 2020. Statistical tests validated the behavior of the bitcoin price series as like the Brownian Geometric Movement. The log-normality premise of the returns from bitcoin price series for using the Black-Scholes-Merton formulas has been relaxed. The comparative results of the theoretical pricing of the bitcoin futures contract with the futures prices practiced by the market showed that premiums were charged, meeting the normal backwardation theory, contango theory, and net protection hypothesis. The comparative results between the use of historical and implicit volatilities for pricing options using the Black-Scholes-Merton formulas showed that, despite shocks having impacted the predictive power of historical volatilities, it was possible to identify mean-reversion characteristics in the implied volatility graphs. For options with longer maturities, historical volatilities appeared to have some type of validity as predictors.

## Keywords

Cryptoasset; cryptocurrency; derivatives; future market; options.

## Sumário

1	Introdução	14
1.1.	Pergunta de Pesquisa	14
1.2.	Objetivo Final	15
1.3.	Objetivos Intermediários	15
1.4.	Delimitação do Estudo	16
1.5.	Relevância do Estudo	16
1.6.	Organização da Dissertação	17
2	Referencial Teórico	18
2.1.	Definição para o Termo 'Criptoativo'	18
2.2.	Inovações Tecnológicas e Criptoativos	19
2.3.	A Tecnologia <i>Blockchain</i>	23
2.4.	Criptoativos como <i>Commodities</i>	25
2.5.	O Mercado de Criptoativos	26
2.6.	O Processo Estocástico	29
2.6.1.	Identificação do Processo	29
2.6.2.	Determinação da Validade	30
2.7.	Precificação de Derivativos de Criptoativos	31
2.7.1.	Definições	31
2.7.2.	Taxa Livre de Risco	32
2.7.3.	Contrato Futuro de Criptoativo	33
2.7.4.	Opção de Criptoativo	36
3	Metodologia	38
3.1.	Método de Pesquisa	38
3.2.	Base de Dados e Amostras	38
3.3.	Limitações do Estudo	40
4	Resultados	42
4.1.	Identificação e Validação do Processo Estocástico	42
4.2.	Precificação de Derivativos de Criptoativos	51

4.2.1. Precificação de Contratos Futuros de Bitcoin	51
4.2.2. Precificação de Opções de Bitcoin	68
4.3. Síntese dos Resultados Alcançados	81
5 Conclusão	83
5.1. Sugestões e recomendações para novas pesquisas	85
6 Referências bibliográficas	87

## Lista de gráficos

Gráfico 2.1 <i>Spread</i> em ordens de compra e venda de bitcoin em aberto .....	28
Gráfico 2.2 <i>Spread</i> em ordens de compra e venda de tether em aberto .....	28
Gráfico 4.1 Série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate .....	43
Gráfico 4.2 Série CME Bitcoin Reference Rate.....	43
Gráfico 4.3 Séries de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate, Ouro <i>spot</i> , petróleo <i>spot</i> , Dow Jones Industrial Average e Standard & Poor's 500 .....	45
Gráfico 4.4 Série da primeira diferença de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate.....	51
Gráfico 4.5 Comparativo entre preços <i>spot</i> e futuros de bitcoin com vencimento em 29 de maio de 2020 <i>versus</i> prêmio de risco.....	67
Gráfico 4.6 Histograma da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate.....	69
Gráfico 4.7 Q-Q normal da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate.....	70
Gráfico 4.8 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de <i>calls</i> de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de <i>strike</i> USD 10.000,00 e vencimento em 28 de fevereiro de 2020 .....	77
Gráfico 4.9 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de <i>calls</i> de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de <i>strike</i> USD 10.000,00 e vencimento em 27 de março de 2020 .....	78
Gráfico 4.10 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de <i>calls</i> de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de <i>strike</i> USD 10.000,00 e vencimento em 26 de junho de 2020 .....	79
Gráfico 4.11 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de <i>calls</i> de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de <i>strike</i> USD 10.000,00 e vencimento em 25 de setembro de 2020 .....	80

## Lista de tabelas

Tabela 2.1 Indicadores de propriedade dos seis maiores criptoativos em capitalização de mercado .....	26
Tabela 2.2 Valores críticos assintóticos para teste $t$ raiz unitária .....	30
Tabela 4.1 Teste Expandido de Dickey-Fuller sem tendência temporal sobre a série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate .....	47
Tabela 4.2 Teste Expandido de Dickey-Fuller com tendência temporal sobre a série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate .....	48
Tabela 4.3 Teste expandido de Dickey-Fuller sem tendência temporal sobre a primeira diferença da série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate Reference Rate .....	49
Tabela 4.4 Teste expandido de Dickey-Fuller com tendência temporal sobre a primeira diferença da série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate .....	50
Tabela 4.5 Precificação do valor esperado do preço à vista do bitcoin no vencimento do contrato futuro e cálculos de prêmios de risco .....	53
Tabela 4.6 Estatísticas descritivas da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate.....	68
Tabela 4.7 Testes de normalidade sobre a 1ª diferença de logaritmos naturais da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate .....	69
Tabela 4.8 Retornos e Desvios-padrão da série CME Bitcoin Reference Rate .....	71
Tabela 4.9 Exemplos de precificações teóricas de <i>calls</i> de bitcoin, de <i>strike</i> USD 10.000,00, com base na volatilidade histórica .....	73
Tabela 4.10 Estatísticas descritivas das séries de volatilidades implícitas de <i>calls</i> de bitcoin em vencimentos variados .....	74
Tabela 4.11 Exemplos de cálculos de volatilidades implícitas de <i>calls</i> de bitcoin com <i>strike</i> USD 10.000,00 .....	74

## Lista de siglas e abreviaturas

BIS	– <i>Bank for International Settlements</i> , Banco de Compensações Internacionais
BRR	– <i>Ticker</i> do Índice CME CF Bitcoin Reference Rate
CAPM	– <i>Capital Asset Pricing Model</i> , Modelo de Precificação de Ativos Financeiros
CC	– <i>Collaborative Commons</i> , Bens Comuns Colaborativos
CME	– <i>Chicago Mercantile Exchange</i>
DLT	– <i>Distributed ledge technologies</i> , tecnologias de registro distribuído
EBA	– <i>European Banking Authority</i> , Autoridade Bancária Europeia
ESMA	– <i>European Securities and Markets Authority</i> , Autoridade Europeia de Valores Mobiliários e Mercados
EFFR	– <i>Effective Federal Funds Rate</i> , Taxa Efetiva de Fundos Federais
EONIA	– <i>Euro Overnight Index Average</i> , Índice Médio <i>Overnight</i> do Euro
FOMC	– <i>Federal Open Market Committee</i> , Comitê Federal do Mercado Aberto
FSB	– <i>Financial Stability Board</i> , Conselho de Estabilidade Financeira
ICO	– <i>Initial Coin Offering</i> , Oferta Inicial de Moeda
ICT	– <i>Information and Communication Technology</i> , Tecnologia de Comunicação e Informação
IOSCO	– <i>International Organization of Securities Comissions</i> , Organização Internacional das Comissões de Valores Mobiliários
MGB	– Movimento Geométrico Browniano
MRM	– Movimento de Reversão à Média
NASDAQ	– <i>National Association of Securities Dealers Automated Quotations</i>

- NYSE – *New York Stock Exchange*
- OPEC – *Organization of the Petroleum Exporting Countries*,  
Organização dos Países Produtores de Petróleo
- P2P – *Peer-to-peer*, ponto-a-ponto
- PoW – *Proof-of-Work*, Prova de Trabalho
- SONIA – *Sterling Overnight Index Average*, Índice Médio Overnight  
da Libra Esterlina
- WHO – *World Health Organization*, Organização Mundial de Saúde
- VBA – Microsoft Visual Basic for Applications

# 1

## Introdução

No ano de 2008, foi publicado na *internet* um artigo com o título *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, escrito por uma pessoa ou um grupo com o codinome Satoshi Nakamoto. Este artigo descreve uma versão de uma moeda digital que permitiria pagamentos *online* enviados de uma pessoa diretamente para outra, sem a necessidade de intermediação por uma instituição financeira. Essas transações digitais seriam validadas utilizando técnicas de criptografia, que dispensariam a necessidade de uma autoridade central para reconhecimento da veracidade da transação.

A primeira aplicação dos conceitos apresentados por Nakamoto – o criptoativo chamado bitcoin, tem uma capitalização de mercado de cerca de 108,34 bilhões de dólares americanos, correspondente a 64,49% da capitalização total do mercado de criptoativos na data de 29 de março de 2020. Sua presença é global, e traz consigo sua rede *blockchain*, uma tecnologia nova e disruptiva que possibilitou que comerciantes e consumidores aceitassem o bitcoin como forma de pagamento.

O bitcoin e sua rede têm usos múltiplos. Da mesma forma que a energia elétrica pode ser usada para iluminar, transportar e produzir, e que o ouro ou a prata podem ser usados como investimento, reserva de valor, adorno e material empregado na indústria eletrônica, o bitcoin pode ser usado como reserva de valor, meio de pagamento, investimento, veículo de remessa, dinheiro, transmissão de herança, registros imutáveis, dentre outras finalidades. Assim, pode-se pensar no ativo bitcoin como o direito de usar sua *blockchain* com múltipla utilidade.

### 1.1.

#### Pergunta de Pesquisa

Após o advento dos criptoativos com o lançamento do bitcoin em 2007, diversas *exchanges* deram início às negociações de derivativos sobre esses ativos, notadamente contratos futuros e opções, e com isso surgiu um novo desafio para precificação de mercado, tendo em vista se tratar de um ativo objeto novo e com

grande potencial de valorização, dada sua tendência mundial de popularização, não obstante possuírem características específicas que trazem consigo bastantes incertezas a serem consideradas, como confiabilidade, segurança, transparência, liquidez, questões legais e regulatórias, grau de aceitação como meio de pagamento ou reserva de valor, dentre outros.

Dado o exposto, e tomando por base a utilização de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos no mercado global de criptoativos, propõe-se, no presente trabalho, a seguinte indagação de pesquisa:

“A utilização de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos para a realização da análise do mercado de criptoativos geram resultados coerentes com os valores praticados pelo mercado?”

## 1.2.

### **Objetivo Final**

Dessa forma, o estudo busca evidenciar se os modelos convencionais de precificação de derivativos podem ser utilizados para precificação de derivativos sobre criptoativos, gerando resultados coerentes com valores praticados pelo mercado.

## 1.3.

### **Objetivos Intermediários**

Para se atingir o objetivo final proposto, esse estudo prevê, como objetivos intermediários a serem alcançados:

- Identificar e validar a utilização de processos estocásticos para realização da modelagem de séries históricas de preços de criptoativos;
- Realizar a precificação teórica de contratos futuros e de opções de criptoativos, utilizando ferramentas tradicionais de precificação de derivativos;
- Comparar os resultados obtidos através da precificação teórica dos derivativos de criptoativos com os preços praticados pelo mercado;
- Analisar eventual cobrança de prêmio nos contratos futuros de criptoativos;
- Analisar a volatilidade das opções de criptoativos.

## 1.4.

### Delimitação do Estudo

Este estudo pretende verificar se a utilização de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos para a realização da análise de mercado de criptoativos geram resultados coerentes com os valores praticados pelo mercado. Esta análise se mostra interessante e importante pois a popularização dos criptoativos é uma tendência mundial, por terem um contorno disruptivo acerca das finanças, tendo em vista estarem transformando a forma como as pessoas interagem e realizam negócios (TASCA, 2015), portanto, sendo essencial verificar se os resultados obtidos através da precificação tradicional são semelhantes aos valores praticados pelo mercado.

Embora relevante, não foram utilizadas séries históricas de criptoativos alternativos ao bitcoin, tendo em vista a dificuldade em se obter séries representativas de preços futuros e de negociações realizadas com opções, o que prejudicaria a análise de resultados. Não obstante, o bitcoin é atualmente o criptoativo mais representativo do mercado de criptoativos, possuindo a maior capitalização de mercado, correspondente a 64,49% da capitalização total do mercado mundial de criptoativos.

## 1.5.

### Relevância do Estudo

As informações que esse estudo pretende produzir podem se mostrar úteis para administradores, economistas, gestores financeiros, analistas e consultores de valores mobiliários, *traders* e investidores, tendo em vista que o fenômeno dos criptoativos é muito jovem, carecendo de transparência e experimentando alta volatilidade, tendo em vista altos riscos de liquidez, crédito, operacional e legal (EUROPEAN CENTRAL BANK, 2015), havendo assim a necessidade de proteção de posicionamentos através de instrumentos financeiros derivativos.

Os resultados a serem alcançados também poderão ser úteis para estudantes e pesquisadores nas áreas de administração, finanças, economia financeira, securitização e de investimentos, posto que, como base para novos estudos, há necessidade de frequente verificação da adequação dos modelos matemáticos e estatísticos utilizados para análise e precificação de ativos e derivativos visando

seus aprimoramentos, além da criação e desenvolvimento de novos e mais sofisticados modelos que possam explicar e prever, com maior precisão, o comportamento de suas séries de preços.

## **1.6.**

### **Organização da Dissertação**

O próximo capítulo (2) apresenta o referencial teórico utilizado nesse estudo, além de trazer explicações mais detalhadas sobre os conceitos abordados. O Capítulo 3 descreve a metodologia e a base de dados utilizadas. O Capítulo 4 apresenta os resultados, e no Capítulo 5 são feitas as conclusões.

## 2

### Referencial Teórico

Neste capítulo são discutidos aspectos teóricos e estudos relacionados ao tema de investigação. Esta seção está dividida em quatro seções, que abordam teorias e métodos matemáticos e estatísticos conexos com criptomoeda.

A primeira seção define o termo ‘criptoativo’ e justifica a utilização desse termo no estudo, tendo em vista que a literatura ainda não o adota como padrão.

A segunda seção apresenta como as evoluções tecnológicas influenciaram a forma com que as pessoas realizam negócios, além de apresentar características do bitcoin, o mais popular criptoativo atualmente.

A terceira seção traz um breve histórico acerca da evolução da tecnologia *blockchain*, bem como descreve algumas características de seu funcionamento.

A quarta seção aborda como alguns autores definem os criptoativos conforme suas características – como *commodities* ou como moedas, o que é importante para subsidiar a identificação e validação do processo estocástico de preços.

A quinta seção traz uma análise sobre características de mercados de criptoativos, no tocante a competição e eficiência.

A sexta seção aborda a questão do comportamento estocástico das variáveis incertas das séries de preços de criptoativos, inclusive com a identificação e validação de seu processo estocástico como similar a um Movimento Geométrico Browniano ou Movimento de Reversão à Média.

Por fim, a sétima seção aborda, com base na análise do comportamento estocástico das variáveis incertas da seção anterior, o referencial teórico que norteia a precificação de derivativos através de ferramentas tradicionais, e a possibilidade de aplicação na precificação de criptoativos.

#### 2.1.

#### Definição para o Termo ‘Criptoativo’

Houben e Snyers (2020) explicam que, atualmente, diversas definições para o termo ‘criptoativo’ são adotadas por autoridades reguladores e órgãos de moni-

toramento e supervisão, como BCE (Banco Central Europeu), IOSCO (*International Organization of Securities Comissions*), FSB (*Financial Stability Board*), ESMA (*European Securities and Markets Authority*) e EBA (*European Banking Authority*), todas com um escopo muito amplo, e recorrentemente citando a natureza privada do ativo e o uso de criptografia e DLT (*distributed ledge technologies*) – como a *blockchain*, ou tecnologia similar. Visando ir além de definições que cobrem apenas as chamadas criptomoedas, como bitcoin, litecoin, dentre outras, os autores definem ‘criptoativos’ como ativos digitais privados, gravados na forma de livros digitais protegidos através de criptografia, que não são emitidos nem garantidos por banco central ou autoridade pública, e que podem ser utilizados como meio de troca, para fins de investimento ou para acesso a bens ou serviços.

Atualmente, a literatura não adota o termo ‘criptoativo’ como padrão, podendo ser encontrados em textos e documentos variados termos, como criptomoeda, moeda virtual, moeda digital, dentre outros. Isto posto, esse estudo enquadrará, quando necessário, os termos mais comuns referidos na literatura, além de nomes próprios de ativos digitais, como bitcoin, ethereum, litecoin, kraken etc., como ‘criptoativo’, segundo a definição de Houben e Snyers (2020).

## 2.2.

### Inovações Tecnológicas e Criptoativos

De acordo com Tasca (2015, p. 8), o mundo vivenciou nas últimas décadas revoluções tecnológicas que trouxe melhorias na qualidade de vida da sociedade. Ele afirma que computadores, celulares, tablets e *internet* permitem as pessoas manterem-se conectadas entre si instantaneamente (*online*), e se tornaram indispensáveis no dia-a-dia. O autor defende, também, que uma das últimas inovações tecnológicas são as redes ponto-a-ponto (*peer-to-peer* – P2P), que estão contribuindo para uma rápida transição da sociedade em direção à economia da *Collaborative Commons* (CC), um espaço digital onde provedores e usuários compartilham bens e serviços com custo marginal próximo a zero. Tasca (2015, p. 8) explica que a CC impactou a indústria de bens de informação, como gravadoras, produtoras de filmes, televisão, jornais, revistas e editoras, à medida que os consumidores passaram a se os próprios criadores de conteúdo, produzindo vídeos, músicas, cursos, e compartilhando em canais da *internet*, como Youtube, Instagram, Twitter, sem custo. Ele acredita ser essa uma tendência que gerações mais novas estão seguindo, pois compartilham carros,

quartos, roupas, e outros, preferindo o acesso ao bem/serviço ao invés de ter a posse deles.

Ainda conforme com Tasca (2015, p. 8), o sistema financeiro não é imune ao impacto da tecnologia no comportamento de consumo. O autor assevera que *crowdfunding*, empréstimos ponto-a-ponto, carteiras digitais, criptomoedas ou infraestruturas de pagamento interoperáveis são algumas das novas formas disruptivas de finanças que estão transformando a forma como pessoas realizam negócios. Ele afirma que estamos deixando a chamada *e-finance*, definida por Allen, McAndrews e Strahan (2002, p. 5) como “a prestação de serviços financeiros e de mercados utilizando comunicação eletrônica e computação”, e que estamos entrando na era das finanças ponto-a-ponto (P2P), definida como “a prestação de serviços financeiros diretamente por usuários finais a usuários finais que usam tecnologias de informação e comunicação baseadas em computador e em rede” (TASCA, 2015, p. 8), e esse avanço tende a diminuir gradualmente os custos de intermediação e a dependência ao papel-moeda (ALLEN, MCANDREWS e STRAHAN, 2002, p. 12). Como exemplificação dos custos de transações que utilizam *blockchain*, no estudo de Strüker, Reichert e Albrecht (2019, p. 43), uma transação com o criptoativo ethereum sem utilização da opção de contratos inteligentes (uma característica específica desse criptoativo) tem um custo de transação de 1,5 a 3,0 centavos de euro, e a combinação de diversas transações pode ainda diminuir esse custo pela metade. Uma transação via PayPal, um dos maiores provedores de serviços de pagamento a nível mundial, tem um custo aproximado de 35,0 centavos de euro mais 1,9% do volume da transação.

Conforme Lee e Low (2018), criptomoeda é uma moeda digital P2P descentralizada que permite o envio de pagamentos *online*, de uma parte à contraparte, sem intermediário. Os autores destacam que sua rede registra criptograficamente marcas temporais das transações, também chamada Prova de Trabalho (*Proof-of-Work*, PoW), o que gera segurança e evita fraudes.

Hoje, a mais popular e primeira criptomoeda desregulada e descentralizada é chamada de bitcoin, possuindo atualmente a maior capitalização do mercado de criptoativos, com cerca de 108,34 bilhões de dólares americanos, correspondente a 64,49% da capitalização total do mercado na data de 29 de março de 2020, segundo o sítio CoinMarketCap<sup>1</sup>. O Bitcoin Project (2009-2019), explica que uma bitcoin pode ser transferida *online* a qualquer momento do dia, sem necessidade

---

<sup>1</sup> Vide <https://www.coinmarketcap.com/historical/20200329/>

de intermediários, o que reduz custos e aumenta a velocidade de pagamentos. Além disso, o Bitcoin Project afirma que a bitcoin utiliza criptografia a nível militar, e sua oferta monetária é disponibilizada para consulta e utilização por qualquer usuário de sua *blockchain*, o que gera segurança, transparência e neutralidade (BITCOIN PROJECT, 2009-2019). Como desvantagens, o Bitcoin Project aponta seu ainda baixo grau de aceitação como meio de pagamento e alta volatilidade.

Quanto ao seu valor e suas características monetárias, o Bitcoin Project (2009-2019) ilustra:

“Bitcoins têm valor porque eles são úteis como uma forma de dinheiro. Bitcoin tem as características de dinheiro (durabilidade, portabilidade, fungibilidade, a escassez, a divisibilidade e o reconhecimento) com base nas propriedades da matemática, em vez de depender de propriedades físicas (como ouro e prata) ou confiança nas autoridades centrais (como moedas fiduciárias). Em suma, o Bitcoin é apoiado pela matemática. Com esses atributos, tudo o que é necessário para uma forma de dinheiro manter o valor é a confiança e adoção. No caso do Bitcoin, isso pode ser medido pela sua crescente base de usuários, comerciantes e startups. Tal como acontece com todas as moedas, o valor do bitcoin vem somente e diretamente das pessoas dispostas a aceitá-las como pagamento.”

Nessa altura, é importante destacar que, não obstante a segurança da tecnologia *blockchain* ser uma das características diretamente relacionadas ao valor dos criptoativos, o termo ‘segurança’ é relativo e pode causar confusão. A transferência de certo criptoativo ocorre apenas mediante a posse de uma chave privada, que gera uma assinatura que valida cada transação realizada em uma *blockchain*. A perda de uma chave privada inviabiliza o acesso a uma carteira de criptoativos, assim como o roubo/furto de uma chave privada pode permitir que pessoas mal-intencionadas realizem transferências não autorizadas, sem a possibilidade de reversão. Ainda no tocante a segurança das *blockchains*, Strüker, Reichert e Albrecht (2019, p. 43) asseguram que não houve até o momento hackeamento de *blockchains* do setor de energia, mas apenas de aplicativos que as utilizam. Os autores citam que uma vulnerabilidade de segurança comum é que a poucos desenvolvedores que desenvolvem algoritmos que utilizam *blockchains* e métodos não baseados em *blockchains* não revisam esses algoritmos, mesmo sendo todos de código aberto, e isso os expõe a riscos. O mesmo pode ocorrer

com desenvolvedores de aplicativos baseados em *blockchains* de criptoativos. Esses exemplos de fraudes, apesar de não estarem diretamente relacionadas a segurança da *blockchain* em si, podem impactar negativamente a precificação dos criptoativos, elevando suas volatilidades.

Em relação a transparência, conforme Tasca (2019, p. 280) qualquer pessoa com acesso à *internet* tem a capacidade e direito de acessar os registros do *ledger* (livro-razão) de uma *blockchain* pública para consultar transações realizadas, como a dos criptoativos bitcoin e ethereum. Esses registros são transparentes e rastreáveis, permitindo inclusive que sejam auditados a qualquer momento. Além disso, como sempre haverá uma única fonte de informações – o *ledger* da *blockchain*, isso eliminará qualquer divergência de valores ou informações contratuais entre as partes. Não obstante, algumas *blockchains* de certos criptoativos possuem características que dificultam a rastreabilidade das transações. O criptoativo monero<sup>2</sup>, por exemplo, utiliza assinaturas em anéis, transações confidenciais em anéis e endereços escondidos para ofuscar a origem, montante e destino das transações, o que ajuda a manter o anonimato dos usuários. Já o criptoativo zcash<sup>3</sup> possui uma tecnologia chamada *zero-knowledge proof* (prova de zero conhecimento) que permite aos participantes realizar transações sem revelar seu montante, quem a enviou e quem a recebeu, apesar de haver a possibilidade de compartilhamento de alguns detalhes da transação, de acordo com os critérios do usuário, para fins de *compliance* ou auditoria.

O fenômeno das criptomoedas ainda é jovem, se comparado às moedas tradicionais (EUROPEAN CENTRAL BANK, 2015). Seu mercado está em expansão, e um número crescente de *traders* está negociando criptomoedas com o propósito de investimento. Pode-se identificar rapidamente, na *internet*, diversas corretoras que disponibilizam a compra de criptomoedas em troca de moedas convencionais (dólar americano, euro, real brasileiro, e outras), evidenciando essa formação de mercado<sup>4</sup>.

De acordo com o Professor Euston Quah (2018), o valor das criptomoedas “é altamente volátil e dependente de sentimentos de mercado” (apud LEE E LOW, 2018, p. VIII). Assim, surge a necessidade da operação, no mercado financeiro, de instrumentos financeiros derivativos, com o objetivo de proteção (*hedge*) ao seu posicionamento.

---

<sup>2</sup> Vide <https://www.getmonero.org/>

<sup>3</sup> Vide <https://z.cash/>

<sup>4</sup> Vide <https://cryptoradar.co/>

### 2.3.

#### A Tecnologia *Blockchain*

Após o lançamento da bitcoin, entre 2009 e 2014, surgiram outras criptomoedas com características específicas, como o litecoin, dash e dogecoin. Essas criptomoedas foram denominadas *altcoins*, ou seja, alternativas ao bitcoin, e passaram a ser negociadas em *exchanges* de diversos países.

Um passo importante na evolução da tecnologia ocorreu em 2014, com a criação da *blockchain* Ethereum, cujo diferencial foi acoplar à *blockchain* uma linguagem de programação, possibilitando a criação de contratos programáveis (*smart contracts*), e se tornando a precursora de diversas outras *blockchains* programáveis. Isso viabilizou uma nova forma de captação de recursos, os *Initial Coin Offerings* – ICO's, ou Oferta Inicial de Moeda, similar aos processos de ofertas públicas primárias do mercado acionário, com intuito de angariar fundos para lançamento do projeto de criação do respectivo criptoativo.

O valor do criptoativo está associado à sua tecnologia. Uma transação inicia a partir da junção de códigos denominados chave pública (usada para recebimento) e chave privada (usada para transferência). Quando uma transação é realizada, os códigos são agrupados, e ao grupamento são incluídos a quantidade de criptoativos transacionados e o momento exato da realização da transação (*time stamp*), que é posteriormente criptografado através do algoritmo SHA-256, desenvolvido pela agência americana de segurança, gerando uma sequência alfanumérica denominada *hash*. Essas *hashes* são empilhadas em formato de árvore de dados, em blocos com tamanho limite de 1 *megabyte*, seguindo um protocolo pré-definido que também gera uma *hash* no cabeçalho do bloco, o qual também possui o código do bloco anterior, formando assim uma cadeia de blocos de dados. De acordo com Nakamoto (2018), a tecnologia *blockchain* funciona através do reconhecimento dos participantes da rede que suas diversas transações se realizaram com sucesso e não foram fraudulentas.

Os responsáveis pela construção dos blocos de dados são os agentes denominados mineradores. Eles entram em competição para decifrar um código em um certo intervalo de tempo, o que permitirá ao vencedor encaixar um novo bloco à rede. Toda a operação leva um período de processamento aproximado de uma hora, o que é significativamente mais curto que o processo padrão que instituições financeiras levam atualmente para realizar tarefas semelhantes (CLOHESSY,

ACTON e ROGERS, 2018). O vencedor receberá, como compensação pela necessidade de investimento em computadores de alto desempenho que consomem tempo de CPU e grande quantidade de energia elétrica, certa quantidade de criptoativos gerados automaticamente pelo sistema, além dos honorários (*fees*) da transação. Em seguida, novo intervalo de tempo é aberto para que a competição entre os mineradores reinicie.

Moedas fiduciárias, como Dólar dos Estados Unidos e o Real brasileiro, podem ser emitidas sem limitação de quantidade, discricionariamente, de acordo com as políticas das autoridades monetárias. O aumento da quantidade de moeda em circulação pode contribuir para o aumento da inflação, à medida que os preços de bens e serviços tendem a aumentar, e um aumento descontrolado dos preços – a hiperinflação – pode causar sérios problemas econômicos e monetários de difícil resolução. Diferentemente das moedas fiduciárias, a emissão de criptoativos não é regulada por autoridades monetárias. Sua emissão é automática, e cresce de acordo com o aumento da atividade de mineração até que seja atingido um limite máximo definido antes da concepção do criptoativo. No caso do bitcoin, inicialmente (ano de 2009), era concedida recompensa de 50 bitcoins por inserção de bloco realizado com sucesso. O valor dessa recompensa é dividido periodicamente pela metade, até que o número máximo de 21 milhões de bitcoins seja emitido (previsto para ocorrer em 2040). Nesse momento, não serão geradas novas bitcoins, e as gratificações concedidas se tornarão exclusivamente os *fees* das transações (NAKAMOTO, 2018). Essa sistemática contribui para seu controle inflacionário, uma vez que a emissão de criptoativos não se dá através de decisões discricionárias, mas sim automaticamente, de acordo com o aumento do número de transações realizadas.

A busca do minerador para decifrar códigos é intensiva em processamento de dados e uso de energia, e serve justamente para garantir a segurança da rede. Caso algum minerador tenha o intuito de fraudá-la, deverá possuir força computacional (*hash power*) maior que a do restante da rede, caso contrário, isso tornar-se-á fisicamente inviável.

Existem outras arquiteturas de *blockchains* com diferentes formas de consenso. Por exemplo, a *blockchain* do litecoin utiliza outro algoritmo de criptografia diferente da SHA-256, e os blocos são construídos, em média, em dois minutos e meio. A *blockchain* do dash, por sua vez, além da mineração, possui mecanismo de votação via *master nodes*, visando acelerar as transações.

## 2.4.

### Criptoativos como *Commodities*

Na literatura, podem ser encontradas diversas definições para criptoativos, de acordo com suas características. Alguns autores consideram criptoativos como *commodities*, como Selgin (2015), que define bitcoin como uma *commodity* monetária sintética, uma vez que compartilha características de *commodities* monetárias, como exemplo o ouro, e de moedas fiduciárias, como o dólar americano (apud BAUR, HONG e LEE 2017, p. 3). Já Murphy, Murphy e Seitzinger (2015, p. 7) e Mittal (2012, p. 22) concordam que o padrão de preços do criptoativo bitcoin é mais tipicamente de uma *commodity* especulativa do que de uma moeda fiduciária, uma vez que a volatilidade de preços sugere que o mercado é impulsionado por investidores especulativos, tendo em vista o incentivo ao seu acúmulo como investimento, e não por uma crescente demanda. Além disso, possuem propriedades fracas como meio de troca, pela dificuldade em ser adquirida por meio de moedas fiduciárias, como unidade de conta, já que um mesmo criptoativo pode ser listado com diversos preços em diversas *exchanges*, inclusive com a possibilidade de haver um *spread* substancial, e como reserva de valor, pois sua rede possui segurança questionável, o que pode contribuir para volatilidade de preços.

Outros autores, como Baur, Hong e Lee (2017, p.3), afirmam que criptoativos são híbridos entre *commodities* monetárias e moedas fiduciárias, pois foram desenhados para serem escassos, visando o controle inflacionário de seus preços (há um teto que limita a quantidade máxima de criptoativos emitidos em suas respectivas *blockchains*), característica semelhante à escassez de uma *commodity* monetária (como por exemplo o ouro e a prata, que possuem produção limitada), no entanto sem possuírem valor intrínseco, o que é uma das características das moedas fiduciárias. Além disso, apesar de ambos poderem ser utilizados como reserva de valor, a *commodity* monetária tem objetivos diferentes de ser um meio de troca, enquanto a moeda fiduciária tem como principal objetivo ser um meio de troca, além de não ser naturalmente escassa, pois é emitida por um Banco Central, sem um teto que limite sua quantidade emitida.

## 2.5.

### O Mercado de Criptoativos

Conforme Mankiw (2018), supõe-se que um mercado seja perfeitamente competitivo quando os bens nele oferecidos para venda são todos iguais, e a quantidade de compradores e vendedores é tanta que nenhum deles é capaz de influenciar o preço de mercado. Por outro lado, um mercado onde há apenas um vendedor que determina o preço é chamado de monopólio, e um mercado onde há poucos vendedores que determinam o preço é chamado de oligopólio.

Conforme dados disponibilizados nos sites especializado em inteligência do mercado de criptoativos IntoTheBlock<sup>5</sup> e CoinMarketCap<sup>6</sup>, os indicadores de concentração de propriedade dos cinco maiores criptoativos em capitalização de mercado, que correspondem a 90,75% da capitalização total do mercado de criptoativos, estão descritos na Tabela 2.1. *Whales*<sup>7</sup> são definidos como endereços na *blockchain* que possuem mais de 1,0% do total de criptoativos circulantes e que, portanto, têm a capacidade de, sozinhos, influenciarem o preço de mercado; investidores são endereços que possuem entre 0,1% e 1,0% do total de bitcoins circulantes e que, em conjunto com outros investidores, têm a capacidade de influenciar o preço de mercado; e varejistas são endereços que possuem menos de 0,1% do total de bitcoins circulantes, que têm baixa capacidade de influenciar o preço de mercado.

**Tabela 2.1 Indicadores de propriedade dos seis maiores criptoativos em capitalização de mercado**

Criptoativo	Capitalização de Mercado (USD)	Quantidade de <i>Whales</i>	Concentração de criptoativos com <i>Whales</i>	Quantidade de Investidores	Concentração de criptoativos com investidores	Concentração de criptoativos com varejistas
Bitcoin	108,34b (64,49%)	1	1,39%	41	9,44%	89,17%
Ethereum	13,85b (8,25%)	5	12,11%	142	28,07%	59,82%
Tether	4,65b (2,77%)	6	17,07%	123	30,97%	51,96%
Bitcoin Cash	3,79b (2,26%)	3	5,43%	106	24,17%	70,40%
Bitcoin SV	2,72b (1,62%)	2	2,66%	106	25,49%	71,85%
Litecoin	2,40b (1,43%)	4	7,69%	129	39,94%	52,37%
TOTAL	133,36b (80,81%)	17	-	518	-	-

Fontes: IntoTheBlock, CoinMarketCap e dados do estudo

<sup>5</sup> Vide <https://www.intotheblock.com/>

<sup>6</sup> Vide <https://www.coinmarketcap.com/historical/20200329/>

<sup>7</sup> *Whale* (baleia) é um jargão do mercado financeiro que define certo investidor que, por possuir considerável volume de certo ativo, tem a capacidade de influenciar seu preço de mercado.

Esses dados sugerem que nem todos os mercados de criptoativos se aproximam de mercados do tipo perfeitamente competitivo. Enquanto no mercado bitcoin – o maior em capitalização de mercado – não há concentração representativa de criptoativos em um ou poucos endereços – há apenas um *whale*, que concentra apenas 1,39% do total de bitcoins da *blockchain*, e quarenta e um investidores, que concentram apenas 9,44% do total de bitcoins da *blockchain*, o que dificultaria qualquer intenção de influência nos preços de mercado, e portanto o criptoativo que mais se aproximaria de um mercado perfeitamente competitivo, no mercado tether, 17,07% dos criptoativos da *blockchain* estão concentrados em seis *whales*, o que sugere um oligopólio.

Nessa altura, é importante ressaltar que, apesar dessa métrica ser uma boa aproximação para inferências acerca da concentração do mercado de criptoativos, ela se baseia na quantidade de ‘endereços’ que possuem criptoativos registrados, e não na quantidade de proprietários de criptoativos, não havendo impedimento para que um proprietário possua mais de um endereço.

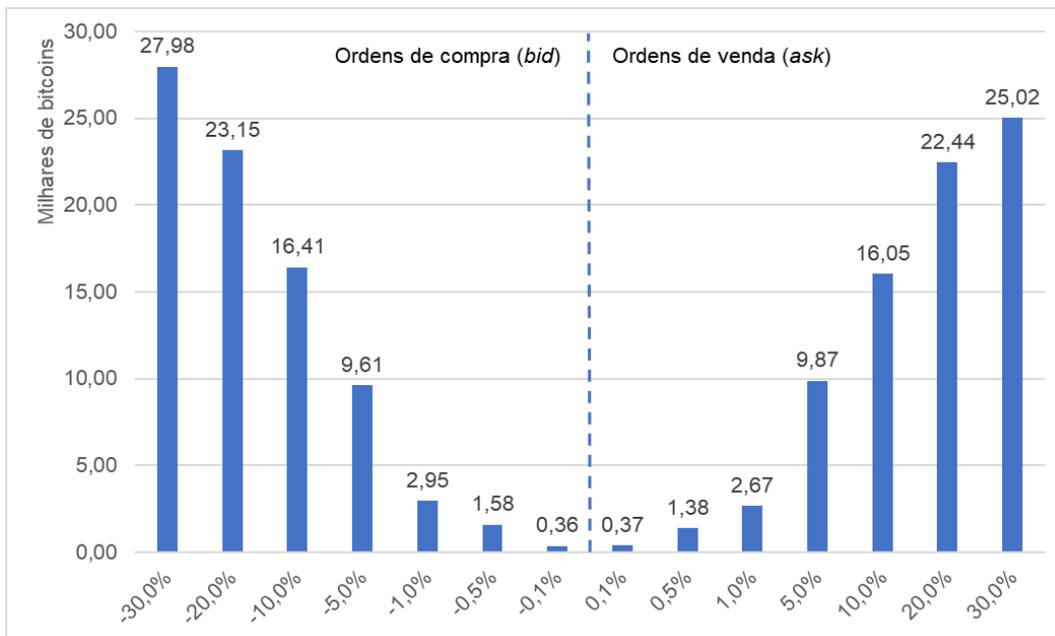
Um mercado eficiente, segundo Mankiw (2018), é um mercado cuja alocação de recursos maximiza o chamado excedente total, definido como o valor total atribuído aos bens pelos compradores (medido pela sua disposição para pagar) menos o custo total dos bens para os vendedores. Uma das premissas para um mercado eficiente é que sejam também perfeitamente competitivos, para que não haja compradores ou vendedores com poder de controlar os preços de mercado, o que os manteria longe do equilíbrio da oferta e da demanda.

O Gráfico 2.1 mostra o *spread* relativo aos preços das ordens de compra e venda do bitcoin em 29 de março de 2020 11:00hs BRT, o mercado de criptoativos que mais se aproxima de um mercado perfeito.

Pode-se observar que os preços médios de compra e venda do bitcoin são próximos. Além disso, observa-se tanto a baixa quantidade de ofertas e demandas com *spreads* baixos (até 5%), quanto a razoável homogeneidade na quantidade de oferta e demanda de bitcoins por faixa de *spread*, o que sugere liquidez e certa eficiência do mercado. Criptoativos são negociados *online*, 24 horas por dia, 7 dias por semana, e a localização de carteiras é pulverizada globalmente. Essas características também contribuem para aumento da eficiência do mercado.

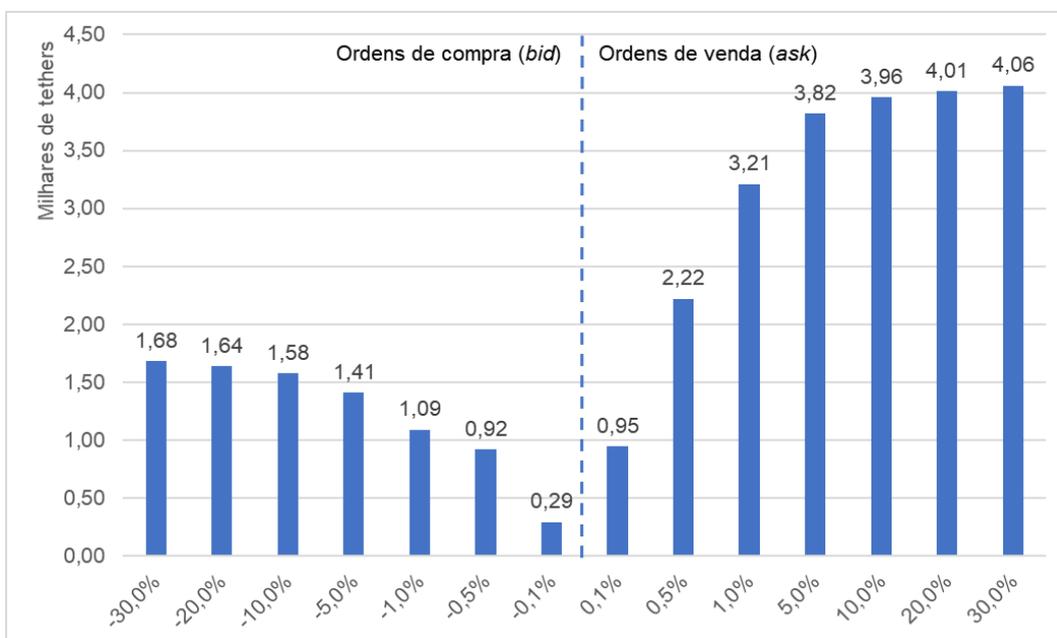
O Gráfico 2.2 mostra o *spread* relativo aos preços das ordens de compra e venda do tether em 29 de março de 2020 11:00hs BRT, um dos mercados de criptoativos que se aproxima de um oligopólio.

**Gráfico 2.1 Spread em ordens de compra e venda de bitcoin em aberto**



Fontes: IntoTheBlock e dados do estudo

**Gráfico 2.2 Spread em ordens de compra e venda de tether em aberto**



Fontes: IntoTheBlock e dados do estudo

Pode-se observar que os preços médios de compra e venda do tether são próximos. Não obstante, observa-se que a quantidade de ofertas por faixa de *spread* é maior e crescente em relação a demanda, o que sugere menor liquidez e ineficiência do mercado. Uma das causas desse fenômeno pode estar relacionada a menor confiança do mercado para adquirir este criptoativo, uma vez que 17,07% da quantidade de tether em circulação é de posse de seis *whales*, e 30,97% é de posse de cento e vinte e três investidores, o que pode causar receio na manipulação de preços, e conseqüente perdas.

## 2.6.

### O Processo Estocástico

Para que se possa precificar de maneira satisfatória um derivativo de criptoativo utilizando ferramentas tradicionais de precificação, deve-se primeiramente investigar o comportamento estocástico das variáveis incertas.

A incerteza de um criptoativo está relacionada às variáveis que podem influenciar seu valor de mercado, como a liquidez, oferta/demanda, confiança/segurança, perspectivas futuras positivas/negativas, dentre outras, e são consideradas suas principais fontes de risco. Modelar corretamente o comportamento da incerteza de um criptoativo é de suma importância para que a precificação de seu valor real seja a mais fidedigna possível, evitando resultados falaciosos e diminuindo risco de perdas.

#### 2.6.1.

#### Identificação do Processo

Alguns autores, como Dixit e Pindyck (1994, p. 71-73), e Hull (2016, p. 338), afirmam que o processo estocástico comumente utilizado para modelagem de preços de ações, *commodities* e outros valores mobiliários que podem flutuar aleatoriamente no curto prazo motivados por fenômenos sociais, como guerras comerciais, armadas ou revoluções em países produtores, é o chamado Movimento Geométrico Browniano (MGB), sob o qual o retorno para um breve período de tempo é normalmente distribuído e os retornos em dois períodos não sobrepostos são independentes. Não obstante, para alguns casos de ativos especulativos que dependam de nível de equilíbrio no longo prazo, como *commodities* brutas (cobre, petróleo), seus preços tendem a serem atraídos de volta para o custo marginal de

sua produção, o que possibilitaria e justificaria a modelagem de seu processo estocástico como Movimento de Reversão a Média (MRM).

Pinto (2009, p. 27) argumenta que a reversão à média é baseada em conceitos de microeconomia. Quando preços estão deprimidos, a demanda por certo produto aumenta e sua produção diminui, assim como quando os preços estão fortalecidos, a demanda diminui e a produção aumenta, fazendo com que o preço tenda para sua média de longo prazo em ambos os casos.

Dixit e Pindyck (1994, p. 77) sugerem que a escolha pela modelagem através de certo processo estocástico deve ser baseada com maior peso em considerações teóricas do que em testes estatísticos. Também deve-se considerar o custo de oportunidade para se realizar os trabalhos de modelagem – tempo a ser expendido, dificuldade, tipo de processo, dado que geralmente é mais simples modelar variáveis estocásticas através de um MGB do que de um MRM.

## 2.6.2.

### Determinação da Validade

Dixit e Pindyck (1994, p. 76) ensinam que a escolha pela modelagem de uma série de preços de certa *commodity* ou outro bem como MGB ou MRM pode ser subsidiada através dos resultados da regressão linear da mesma por mínimos quadrados, e da posterior aplicação de um teste de raiz unitária, como o de Expandido de Dickey-Fuller, com e sem tendência temporal. Caso o teste falhe em rejeitar a hipótese nula de raiz unitária, haverá evidências estatísticas de que a série de preços não é estacionária, e assim segue um passeio aleatório, possibilitando que sua modelagem seja realizada através de um MGB. Caso a hipótese nula de raiz unitária seja rejeitada, haverá evidências estatísticas que a série de preços é estacionária, que pode ser descrita por um modelo ARMA (p, q) (autor-regressivo e de média móvel), e que os preços reverterem à média.

Para que seja rejeitada a hipótese nula, basta que o valor do teste seja menor que os valores críticos por níveis de significância, conforme Tabela 2.2.

**Tabela 2.2 Valores críticos assintóticos para teste *t* raiz unitária**

Nível de significância	1%	3%	5%	10%
Valor crítico - série sem tendência temporal	-3,43	-3,12	-2,86	-2,57
Valor crítico - série com tendência temporal	-3,96	-3,66	-3,41	-3,12

Fonte: Wooldridge (2016, p. 575-577)

Brooks (2019, p. 342) afirma que a maioria das séries temporais de finanças contém uma única raiz unitária, ou seja, que é  $I(1)$ . O autor acrescenta que a hipótese do mercado eficiente e expectativas racionais sugerem que o preço dos ativos deve seguir um passeio aleatório ou um passeio aleatório com *drift*.

Dixit e Pindyck (1994, p. 76-77) realizaram um trabalho onde séries de preços de 120 anos de *commodities* petróleo cru e cobre foram testadas para presença de raiz unitária, cujos resultados foram a rejeição da hipótese nula, portanto, sugerindo que os preços reverterem à média. Não obstante, argumentaram que se testes fossem realizados com a utilização de dados dos últimos 30 ou 40 anos, a hipótese nula falharia em rejeitar. Nessa mesma linha, um estudo de Morgan, Rayner e Ennew (1994) mostrou que séries de preços internacionais de *commodities* eram não estacionárias, tendo em vista que testes de raiz unitária sobre os logaritmos dos preços apresentaram uma raiz unitária, tendo assim comportamento similar ao passeio aleatório.

Assim, tendo como base a literatura acerca dos criptoativos, através da qual diversos autores afirmam que possuem características de *commodities*, além da indisponibilidade de séries temporais longas, tendo em vista que criptoativos são ativos recentes, seria interessante e necessário realizar testes estatísticos em séries de criptoativos para verificar se falham em rejeitar a hipótese nula de raiz unitária. Pinto (2009, p. 30) observa que, ainda que a hipótese nula de raiz unitária não seja rejeitada, poderá haver indícios de reversão à média na série de preços.

## 2.7.

### Precificação de Derivativos de Criptoativos

Baseado na análise do comportamento estocástico da variável incerta através de séries históricas de preços de criptoativos e da validação de seu processo estocástico, pode-se iniciar a precificação de seus derivativos.

#### 2.7.1.

##### Definições

Hull (2016, p. 1) define um derivativo como "um instrumento financeiro cujo valor depende (ou deriva) dos valores de outras variáveis subjacentes mais básicas". Assim, um derivativo é um instrumento financeiro que depende da trajetória da série de preços de seu ativo subjacente.

Contratos futuros são acordos padronizados que são negociados em bolsa de valores, para compra ou venda futura de um ativo (HULL, 2016, p. 24). Quanto a entrega do ativo, alguns mercados, como o Deribit<sup>8</sup>, realizam a liquidação em dinheiro em vez da entrega física do criptoativo, ou seja, o comprador do contrato futuro não comprará um criptoativo, tampouco o vendedor o venderá, mas haverá apenas uma transferência de perdas e ganhos no momento da liquidação do contrato, com base no preço de vencimento (DERIBIT, 2020).

Opções são derivativos negociados em bolsas e mercado de balcão em dois tipos: opção de compra (*call*), que dá ao titular o direito de comprar seu ativo subjacente até uma determinada data por um certo preço, e uma opção de venda (*put*), que dá ao titular o direito de vender o ativo subjacente até uma determinada data por um certo preço. Opções americanas são aquelas que podem ser exercidas a qualquer momento, até seu vencimento, ao passo que opções europeias são aquelas que podem ser exercidas exclusivamente na data de seu vencimento (HULL, 2016).

Visando simplificar a análise, nesse estudo foram desconsiderados os custos de transação dos participantes do mercado ao negociarem derivativos.

### 2.7.2.

#### Taxa Livre de Risco

As taxas de alguns títulos do tesouro americano, como *T-Bonds* e *T-Bills* poderiam ser consideradas livres de risco para fins de precificação de contratos de derivativos de criptoativos, tendo em vista a baixa probabilidade de *default*. Não obstante, conforme Hull (2016), o mercado de derivativos não as utiliza pois considera que o governo americano as mantém baixas artificialmente.

A LIBOR (*London Interbank Offered Rate*), taxa de juros de curto prazo (até um ano) utilizada como referência para empréstimos entre bancos com boa classificação de risco de crédito, também poderia ser considerada livre de risco para fins de precificação de derivativos de criptoativos. No entanto, de acordo com Hull (2016), durante a crise de crédito de 2007, devido ao aumento demasiado do risco de *default*, os bancos ficaram reticentes em realizarem empréstimos uns aos outros, ocasionando a elevação da LIBOR, deixando de ser considerada como livre de risco para fins de precificação de derivativos com garantias. Conforme o autor,

---

<sup>8</sup> Vide <https://www.deribit.com/>

após a crise, o mercado deixou de utilizá-la para precificação de derivativos com garantias, a substituindo pela taxa OIS (*Overnight Indexed Swaps*).

De acordo com Hull (2016), o mercado de derivativos utiliza a taxa OIS como livre de risco. A taxa OIS é uma taxa *overnight* de atualização contínua, calculada por uma instituição financeira de acordo com uma série de empréstimos *overnight* realizados a outras instituições financeiras, fornecendo uma estimativa do custo de financiamento dessas operações. Ela é utilizada em um OIS (*Overnight Index Swap*), contrato de *swap* negociado por instituições financeiras, onde uma ponta fixa – a taxa OIS – é trocada por uma ponta pós-fixada – a EFFR (*Effective Federal Funds Rate*), nos Estados Unidos da América, SONIA (*Sterling Overnight Index Average*), na Grã-Bretanha, ou EONIA (*Euro Overnight Index Average*), na Zona do Euro.

A EFFR é calculada pela mediana, ponderada por volume, das transações de empréstimos sem garantias *overnight* nos Estados Unidos da América, em dólares americanos, entre instituições financeiras depositárias e certas entidades, notadamente empresas patrocinadas pelo governo americano, para atender a requisitos legais de reserva de capital, e é determinada pelo *Federal Open Market Committee* (FOMC).

Tendo em vista a dificuldade em se obter taxas OIS utilizadas por instituições financeiras, esse estudo considerou a EFFR como taxa livre de risco para precificação de derivativos de criptoativos, pois possui características semelhantes às da taxa OIS.

### 2.7.3.

#### **Contrato Futuro de Criptoativo**

De acordo com Hull (2016), o custo de carregamento de um ativo no tempo é composto pelo seu custo de estocagem mais os juros pagos para financiá-lo menos a renda obtida sobre esse ativo. Considerando, para fins de simplificação do estudo, que um criptoativo possui custo de estocagem zero pois, em geral, como forma de atratividade ao investimento, corretoras não cobram do investidor custos periódicos de manutenção de sua carteira de criptoativos, como tarifas de custódia e taxas de depósito e retirada de criptoativos da carteira, e que um criptoativo não gera renda, pois não paga proventos ao titular, como juros periódicos, cupons, etc., o seu custo de carregamento é composto unicamente pelos juros pagos para financiá-lo, ou seja, a taxa livre de risco. Nessas condições, conforme

Hull (2016), a relação entre o preço futuro esperado no tempo  $T_0$  ( $F_0$ ) e o preço do ativo subjacente ao contrato futuro em  $T_0$  ( $S_0$ ) é

$$F_0 = S_0 e^{rT} \quad (2.1)$$

onde  $r$  é a taxa livre de risco anualizada (capitalização contínua), e  $T$  o tempo até o vencimento do contrato futuro, em anos. Essa relação está baseada na teoria da hipótese da expectativa, que, conforme Bodie, Kane e Marcus (2014), se baseia na noção de equilíbrio de mercado em um universo sem incertezas – portanto neutro ao risco, pois versa que o preço futuro de uma *commodity* ( $F_0$ ) é igual ao valor esperado de seu preço à vista em uma data futura ( $E_{T_0}(S_T)$ ) ou seja, o rendimento esperado pelo somatório da posição vencedora com a posição perdedora é zero. Essa teoria ignora qualquer prêmio de risco embutido no preço futuro quando o preço à vista final é desconhecido. Assim:

$$E_{T_0}(S_T) = F_{T_0,T}, \text{ onde } T > T_0 \quad (2.2)$$

Prêmio de risco de mercado é o retorno adicional sobre a taxa livre de risco necessária para que um investidor invista no ativo, em um mundo com incertezas, portanto, não neutro ao risco. É o prêmio que investidores exigem para assumir o risco de possuir certo investimento, conforme o grau de aversão a risco do investidor (EHRHARDT e BRIGHAM, 2011, p. 247).

Nessa altura, para que se possa verificar se há eventual cobrança de prêmio nos contratos futuros de criptoativos, é importante mencionar as teorias tradicionais que versam sobre a relação entre o preço futuro de uma *commodity* e o valor esperado de seu preço à vista em uma data futura, em um mundo com incertezas.

A teoria *backwardation* normal, de Keynes e Hicks (apud BODIE, KANE E MARCUS, 2014), versa que existem investidores que buscam naturalmente se proteger (*hedge*) do risco de queda do preço de *commodities*. Por exemplo, um fornecedor de laranjas vende contratos futuros para garantir o preço da venda de sua mercadoria, e a contraparte só aceita a posição comprada do contrato se o preço futuro da *commodity* for menor que seu preço à vista esperado, ou seja, o fornecedor aceita a perda esperada do contrato pagando um prêmio para o comprador, para assim se proteger do risco de queda do preço da *commodity* no futuro. O preço futuro, que está em um nível menor que o preço esperado à vista, sobe ao longo da vigência do contrato, até que, na data de vencimento  $T$ , o preço futuro na data  $T$  ( $F_T$ ) passa a ser igual ao preço à vista em  $T$  ( $S_T$ ). Conforme Bodie, Kane e Marcus (2014), essa teoria reconhece a existência de um prêmio de risco nos contratos futuros, não obstante ser baseada na variabilidade total dos preços,

e não no risco sistemático. De acordo com Hull (1996), o prêmio de risco, no contexto da teoria da *backwardation* normal, deve ser calculado como a diferença entre a expectativa do preço à vista da mercadoria e seu preço futuro, ou seja:

$$\text{Prêmio} = E_{T_0}(S_T) - F_{T_0,T}, \text{ onde } T > T_0 \quad (2.3)$$

Já na teoria *contango*, o investidor que busca naturalmente se proteger é o comprador da *commodity*, e não o fornecedor (BODIE, KANE e MARCUS, 2014). Por exemplo, uma empresa que industrializa sucos de laranja compra contratos futuros para garantir o preço de compra das laranjas e se protegendo contra eventuais altas dos preços, mesmo pagando um prêmio ao fornecedor das laranjas. Sendo assim, o preço futuro, que está em um nível maior que o preço esperado à vista, cai ao longo da vigência do contrato, até que na data de vencimento  $T$ , o preço futuro em  $T$  passa a ser igual ao preço à vista em  $T$ . Assim, o prêmio de risco, no contexto da teoria *contango*, deve ser calculado como a diferença entre o preço futuro e a expectativa do preço à vista no futuro, ou seja:

$$\text{Prêmio} = F_{T_0,T} - E_{T_0}(S_T), \text{ onde } T > T_0 \quad (2.4)$$

A hipótese da proteção líquida se baseia no argumento que haverá investidores que tentam se proteger com posições compradas concomitantemente com outros que tentam se proteger com posições vendidas (BODIE, KANE e MARCUS, 2014). O preço futuro no vencimento do contrato, calculado na data  $T_0$  ( $F_{T_0}$ , ou  $F_0$ ), será menor que o preço esperado à vista na data de vencimento do contrato ( $S_T$ ) quando houver mais investidores buscando a proteção vendida que comprada, acontecendo o inverso quando houver mais investidores buscando a proteção comprada que a vendida. O lado forte do mercado será o que houver mais investidores buscando a proteção natural, tanto comprada como vendida.

Assim, baseando-se tanto na teoria *backwardation* normal como na *contango*, como os preços futuros em certa data antes do vencimento do contrato futuro ( $T_0$ ) convergem para o preço *spot* na data do vencimento do contrato futuro ( $T$ ), pode-se aplicar a fórmula 2.1 às séries históricas de preços *spot* e futuros de criptoativos, com a finalidade de verificar se o mercado eventualmente cobra prêmio nos contratos futuros de criptoativos.

#### 2.7.4.

#### Opção de Criptoativo

Uma abordagem tradicional para avaliar opções europeias é a utilização do modelo de Black-Scholes-Merton. Hull (2016) explica que, não obstante ser difícil conhecer a taxa de desconto correta a ser utilizada para calcular o resultado esperado de uma opção europeia, Black e Scholes utilizaram o CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) para determinar a relação entre o retorno exigido do mercado sobre a opção e o retorno exigido sobre a ação. Esse modelo se baseia no pressuposto do processo estocástico Movimento Geométrico Browniano (HULL, 2016, p. 338). Assim, séries de preços que possam ser modeladas como MGB podem ser precisadas através das fórmulas de Black-Scholes-Merton.

O processo estocástico para um preço de ativo que não paga dividendos implica que o preço de uma ação no futuro, dado seu preço atual, é lognormal (HULL, 2016), e que mudanças percentuais no preço do ativo em um período bastante curto são normalmente distribuídas (HULL, 2016).

Conforme Hull (2016), as fórmulas de apreçamento de Black-Scholes-Merton, para *call* e *put* europeias, são:

$$c = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2) \quad (2.5)$$

$$p = K e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (2.6)$$

onde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (2.7)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (2.8)$$

Nas fórmulas,  $c$  e  $p$  são os respectivos preços de *call* e *put*,  $S_0$  é o preço do ativo subjacente no tempo zero,  $K$  é o *strike* (preço de exercício da opção),  $T$  é o tempo até o exercício da opção, em anos,  $r$  é a taxa livre de risco,  $\sigma$  é a volatilidade, calculada através do desvio-padrão do logaritmo do retorno do ativo,  $N(\cdot)$  é o valor de uma distribuição normal padrão. Além disso, assume-se que o ativo não pagará dividendos antes da data  $T$ .

Cabe advertir que o modelo de Black-Scholes-Merton pressupõe que a volatilidade é constante (HULL, 2016, p. 628). Na prática, isso não acontece, pois a volatilidade varia ao longo do tempo.

Há duas formas tradicionais de se computar a volatilidade: baseada no retorno histórico, e na volatilidade implícita do ativo. Para calcular a volatilidade histórica, basta selecionar uma janela temporal dentro da série histórica e uma frequência de retornos, calcular o desvio-padrão amostral, e anualizar a volatilidade através da multiplicação da raiz quadrada do número de períodos por ano, por exemplo, multiplicando essa volatilidade por  $\sqrt{365}$  dias corridos/ano ou  $\sqrt{252}$  dias úteis/ano.

Hull (2016) ensina que a volatilidade implícita é o valor de  $\sigma$  que, quando substituído nas fórmulas de apreçamento de Black-Scholes-Merton, gera como resultado o preço atual de mercado da opção europeia cujo ativo subjacente não paga dividendos. Apesar de não ser possível inverter uma equação de Black-Scholes-Merton para que  $\sigma$  seja expresso como uma função de  $S_0$ ,  $K$ ,  $r$ ,  $T$  e  $c$  (para *call*) ou  $p$  (para *put*), é possível aplicar um método de “tentativa e erro” para encontrar  $\sigma$ , atribuindo a essa variável um valor qualquer, observando se o resultado do valor da opção é maior ou menor que o preço de mercado, e substituindo novamente  $\sigma$  por outro valor menor/maior que o anterior, repetidamente, até que o preço calculado da opção seja igual ao preço de mercado, ou seja, a cada iteração, a amplitude de  $\sigma$  diminui, até que seja encontrado o valor de  $\sigma$  que satisfaça a equação. Esse procedimento pode ser facilmente implementado no Microsoft Excel através da função Atingir Meta, ou através de programação de macro no Microsoft VBA.

Cada um dos métodos de cálculo de volatilidade possui características distintas. É comum atribuir certa validade preditora à volatilidade histórica, e também utilizar a volatilidade implícita como indicador do humor atual do mercado.

## 3

### Metodologia

Este capítulo pretende informar sobre as diversas decisões acerca da forma como este estudo foi realizado. Está dividido em três seções que informam, respectivamente, sobre o método do projeto de pesquisa empregado, os critérios de escolha da base de dados e amostras utilizadas, e as limitações do estudo.

#### 3.1.

##### Método de Pesquisa

O estudo foi realizado com o objetivo de evidenciar se os modelos convencionais de precificação de derivativos podem ser utilizados na precificação de derivativos sobre criptoativos. Assim, a população da pesquisa é composta pelos mercados à vista, futuro e de opções do bitcoin, o criptoativo com maior capitalização de mercado (64,49%) em 29 de março de 2020.

Para atingir o objetivo proposto, foi utilizado o método de levantamento, que conforme Creswell (2010), busca realizar inferências sobre características e comportamentos da população a partir da análise de uma amostra dessa. O levantamento de corte transversal é o tipo preferido de procedimento de coleta de dados, dada a conveniência de se obter com facilidade e baixo custo, via *internet* em fontes especializadas, o histórico de preços de criptoativos e de seus derivativos em um certo momento de tempo.

#### 3.2.

##### Base de Dados e Amostras

A principal referência de série temporal de preços de criptoativos utilizada no estudo foi o índice CME CF Bitcoin Reference Rate (BRR), obtido na base de dados do CME Group. O BRR é uma taxa de referência diária do preço correspondente a um bitcoin em dólares dos Estados Unidos, e agrega o fluxo negocial das principais bolsas de bitcoin durante uma janela de cálculo de uma hora antes do fechamento diário, que ocorre às 16:00 horas, horário de Londres, Inglaterra

(GMT +01:00). O BRR foi desenvolvido com base nos Princípios para Benchmarks Financeiros da IOSCO (*International Organization of Securities Comissions*, Organização Internacional das Comissões de Valores Mobiliários), e a CME assegura que sua metodologia de cálculo traz negociabilidade e replicabilidade do mercado *spot* subjacente (CME GROUP, 2020).

Foi utilizada amostra correspondente a preços de fechamento diários do CME CF Bitcoin Reference Rate, desde seu lançamento na CME em 14 de novembro de 2016 a 20 de abril de 2020 (1254 observações).

Como referência de série temporal de preços futuros de criptoativos, foi utilizado o Bitcoin Futures CME May'20, obtido na base de dados do sítio Investing.com<sup>9</sup>, que é composto pelos preços de referência de contratos futuros de bitcoin negociados na CME Globex, a plataforma eletrônica para *trades* da CME (Chicago Mercantile Exchange), com vencimento em 29 de maio de 2020. O contrato futuro de bitcoin da CME é um contrato de liquidação em dinheiro com base na CME CF Bitcoin Reference Rate (BRR). Seu preço diário de fechamento (liquidação) é calculado com base no preço médio, ponderado por volume, de negociações de seus contratos na CME Globex, entre 15:00 horas e 16:00 horas, horário de Londres, Inglaterra (GMT +01:00) (CME GROUP, 2020).

Foi utilizada amostra correspondente a preços de fechamento diários do Bitcoin Futures CME May'20 no período de 17 de dezembro de 2017 até 20 de abril de 2020 (693 observações, desconsideradas datas sem disponibilidade de cotações).

Ressalta-se que o horário de fechamento dos preços do mercado *spot* (CME CF Bitcoin Reference Rate) e do mercado futuro (Bitcoin Futures CME) de bitcoin é o mesmo - 16:00 horas, Londres, Inglaterra (GMT +01:00), o que possibilita a utilização conjunta das séries para realização da precificação de contratos futuros nesse estudo.

Como referência de prêmios de opções de criptoativos negociados no mercado, foi utilizada amostra de *trades* de opções de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de *strike* USD 10.000,00, realizados no período entre 21 de agosto de 2019 e 20 de abril de 2020, na plataforma profissional de negociação de opções e futuros de criptoativos Deribit<sup>10</sup>, com vencimentos em 28 de fevereiro de 2020 (1732 observações), 27 de março de 2020 (7127 observações), 26 de junho de 2020 (1842 observações) e 25 de setembro de 2020 (587 observações), obtida da

---

<sup>9</sup> Disponível em <https://www.investing.com/crypto/bitcoin/bitcoin-futures-historical-data>

<sup>10</sup> Vide <https://www.deribit.com/>

base de dados da Kaiko<sup>11</sup>, uma das provedoras líderes de dados de ativos digitais em grau institucional.

Como referência para taxa de juros livre de risco, foram utilizadas cotações diárias da *Effective Federal Funds Rate* (EFFR), obtidas da base de dados do Federal Reserve Bank of New York<sup>12</sup>, dos Estados Unidos, em 22 de abril de 2020. Sua utilização como taxa livre de risco nesse estudo foi discutida na seção 2.7.2.

Foi utilizada amostra correspondente a cotações diárias da *Effective Federal Funds Rate* no período de 17 de dezembro de 2017 até 20 de abril de 2020 (693 observações).

Para fins de comparação do comportamento das séries de preços de alguns mercados com a série de preços do bitcoin, foram utilizadas como referências de *commodities* o ouro *spot* em dólares dos Estados Unidos (XAU/USD)<sup>13</sup>, e o petróleo *spot* em dólares dos Estados Unidos (WTI/USD)<sup>14</sup>, e como referências de bolsa o índice Dow Jones Industrial Average (DJI)<sup>15</sup>, que reflete o desempenho médio das ações das trinta mais importantes empresas americanas negociadas nas bolsas *New York Stock Exchange* (NYSE) e *National Association of Securities Dealers Automated Quotations* (NASDAQ), e o índice Standard & Poor's 500 (SPX)<sup>16</sup>, que reflete o desempenho das 500 maiores empresas, em termos de valor, também cotadas na NYSE e NASDAQ, todas obtidas na base de dados do sítio *Investing.com*.

Foram utilizadas amostras correspondentes a cotações diárias do ouro *spot* (893 observações), petróleo *spot* (1014 observações), Dow Jones Industrial Average (862 observações) e Standard & Poor's 500 (862 observações), no período de 14 de novembro de 2016 até 20 de abril de 2020.

### 3.3.

#### Limitações do Estudo

Se por um lado a sistemática do estudo possibilitou a aplicação de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos a qualquer criptoativo, permitindo a

---

<sup>11</sup> Disponível em <https://www.kaiko.com/>

<sup>12</sup> Disponível em <https://apps.newyorkfed.org/markets/autorates/fed%20funds>

<sup>13</sup> Disponível em <https://br.investing.com/currencies/xau-usd-historical-data>

<sup>14</sup> Disponível em <https://br.investing.com/currencies/wti-usd-historical-data>

<sup>15</sup> Disponível em <https://br.investing.com/indices/us-30-historical-data>

<sup>16</sup> Disponível em <https://br.investing.com/indices/us-spx-500-historical-data>

comparação dos resultados obtidos com o referencial teórico, por outro lado limitou a abrangência da pesquisa a um único criptoativo - bitcoin, não obstante possuir atualmente a maior capitalização de mercado. Tendo em vista que outros criptoativos possam ter características distintas do bitcoin que influenciem consideravelmente no comportamento de suas séries de preços, como maturidade, rastreabilidade, segurança, etc., há a necessidade de identificar e validar seus processos estocásticos antes da aplicação de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos, evitando assim resultados equivocados. Deste modo, a escolha dessa sistemática deveu-se pela maior simplicidade e conveniência, a despeito dos reveses a ela concernentes.

Outra limitação diz respeito ao tamanho amostral das séries de preço. Criptoativos são ativos recentes, portanto sem disponibilidade de séries temporais longas que permitam uma análise mais precisa do comportamento estocástico das variáveis incertas.

## 4

### Resultados

Este capítulo, organizado em três seções, apresenta e discute os principais resultados alcançados, discute suas implicações e produz sugestões sobre o problema de pesquisa previamente selecionado.

A primeira seção descreve os resultados obtidos com a aplicação de ferramentas estatísticas à série de preços CME Bitcoin Reference Rate (BRR), visando identificar se a mesma possui raiz unitária, ou seja, se segue um processo estocástico similar a um MGB (Movimento Geométrico Browniano), possibilitando assim a aplicação de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos aos criptoativos.

A segunda seção descreve os resultados obtidos com a aplicação das ferramentas tradicionais de precificação de derivativos às séries de preços *spot* e futuros de bitcoin. Está dividida em duas subseções, que trazem respectivamente os resultados da precificação de contratos futuros de bitcoin e de opções de bitcoin.

Já a última seção sintetiza os resultados alcançados através da vinculação das análises com o referencial teórico, e aborda sugestões de decisões negociais amparadas nesses resultados.

#### 4.1.

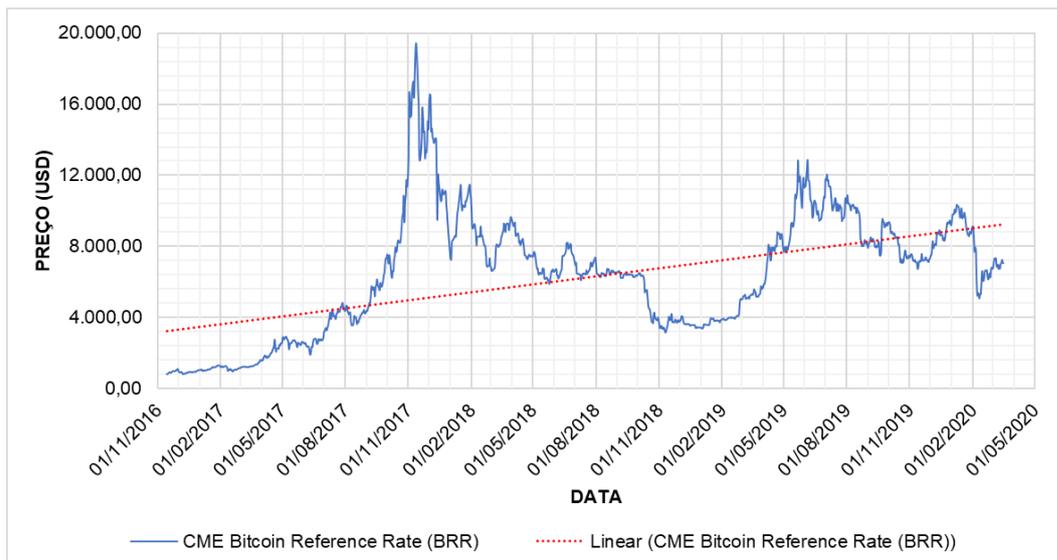
#### Identificação e Validação do Processo Estocástico

Essa seção analisa a série de preços *spot* de bitcoin – CME Bitcoin Reference Rate (BRR), visando identificar se a série de preços do ativo segue um processo estocástico similar a um MGB (Movimento Geométrico Browniano). Caso positivo, poderão ser utilizadas ferramentas tradicionais de precificação de derivativos, como as fórmulas de Black-Scholes-Merton, para precificar derivativos de criptoativos.

Para uma avaliação visual do comportamento da série de preços do bitcoin, foram plotados, através do Microsoft Excel, o Gráfico 4.2, que representa o índice

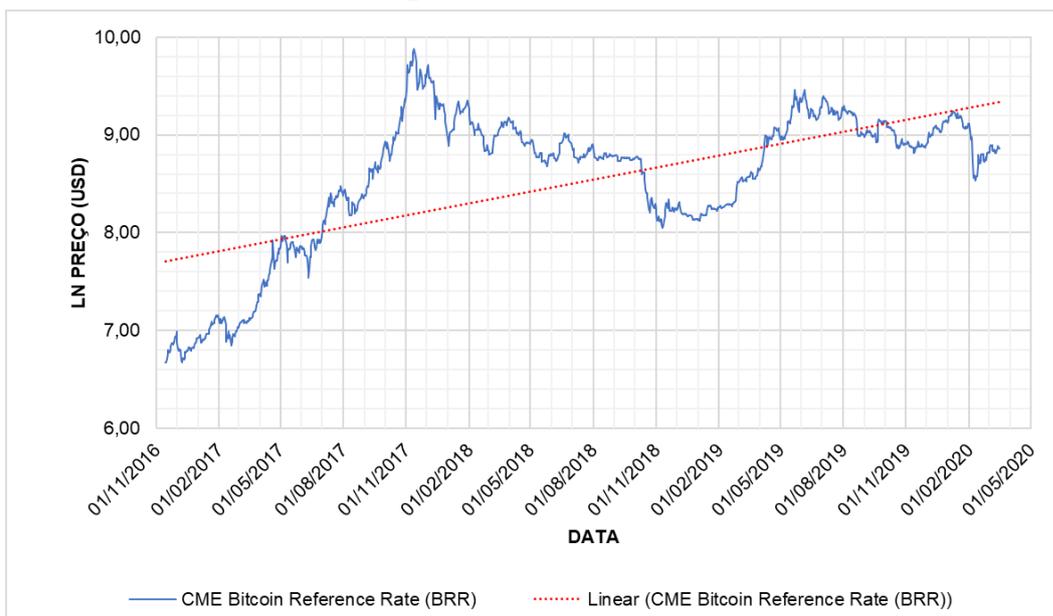
CME Bitcoin Reference Rate (BRR) e sua a linha de tendência, desde seu lançamento pela CME em 14 de novembro de 2016, até 20 de abril de 2020. Pode-se observar que a série aparenta não ser estacionária, além de possuir indicativo de tendência de alta e períodos com aparentes crescimentos exponenciais, como entre novembro de 2016 e novembro de 2017, e entre janeiro de 2019 e junho de 2019.

**Gráfico 4.2 Série CME Bitcoin Reference Rate**



Fontes: CME Group e dados do estudo

**Gráfico 4.1 Série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate**



Fontes: CME Group e dados do estudo

Visando modificar padrões de crescimento exponenciais em lineares, a série foi transformada em seu logaritmo natural. A nova série, bem como sua linha de

tendência, foi plotada no Gráfico 4.1 para o mesmo período. Pode-se observar que essa nova série aparenta não ser estacionária, e também há indicativo de tendência de alta. Visando comparar o movimento do bitcoin com o de alguns mercados, foram plotados no mesmo Gráfico 4.1 as séries de logaritmos naturais e respectivas linhas de tendência do CME Bitcoin Reference Rate (BRR), juntamente com as *commodities* ouro *spot* em dólares dos Estados Unidos (XAU/USD), petróleo *spot* em dólares dos Estados Unidos (WTI/USD), e dos índices Dow Jones Industrial Average (DJI), que reflete o desempenho médio das ações das trinta mais importantes empresas americanas negociadas nas bolsas *New York Stock Exchange* (NYSE) e *National Association of Securities Dealers Automated Quotations* (NASDAQ), e Standard & Poor's 500 (SPX), que reflete o desempenho das 500 maiores empresas, em termos de valor, cotadas também na NYSE e NASDAQ.

Pode-se observar que todas as inclinações das linhas de tendência linear são próximas a zero, apesar da linha de tendência da série petróleo *spot* ser a única com inclinação negativa, possivelmente decorrente de queda de demanda de petróleo que impactou negativamente seu preço a partir de janeiro de 2020. Pode-se observar também um choque nos mercados por volta de 12 de março de 2020, possivelmente em decorrência de guerra de preços do petróleo entre Rússia e OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*, Organização dos Países Produtores de Petróleo)<sup>17</sup>, e do pessimismo acerca da declaração de pandemia do coronavírus SARS-CoV-2 pela WHO (*World Health Organization*, Organização Mundial de Saúde)<sup>18</sup>. Na série CME Bitcoin Reference Rate, o choque aparentou ser mais acentuado, possivelmente em decorrência de informações adicionais que poderiam ter afetado o mercado bitcoin, como a movimentação de quantidade considerável de bitcoins pela empresa de investimentos em criptoativos chinesa Plus Token, acusada de ser uma pirâmide financeira<sup>19</sup>, e também da possibilidade de manipulação do mercado de criptoativos por *whales*<sup>20</sup>. Pode-se identificar também que a volatilidade da série CME Bitcoin Reference Rate é maior que das outras séries, tendo em vista a maior oscilação dos preços, o que pode

---

<sup>17</sup> Vide <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/03/colapso-nas-negociacoes-entre-opec-e-russia-faz-petroleo-despencar.shtml>

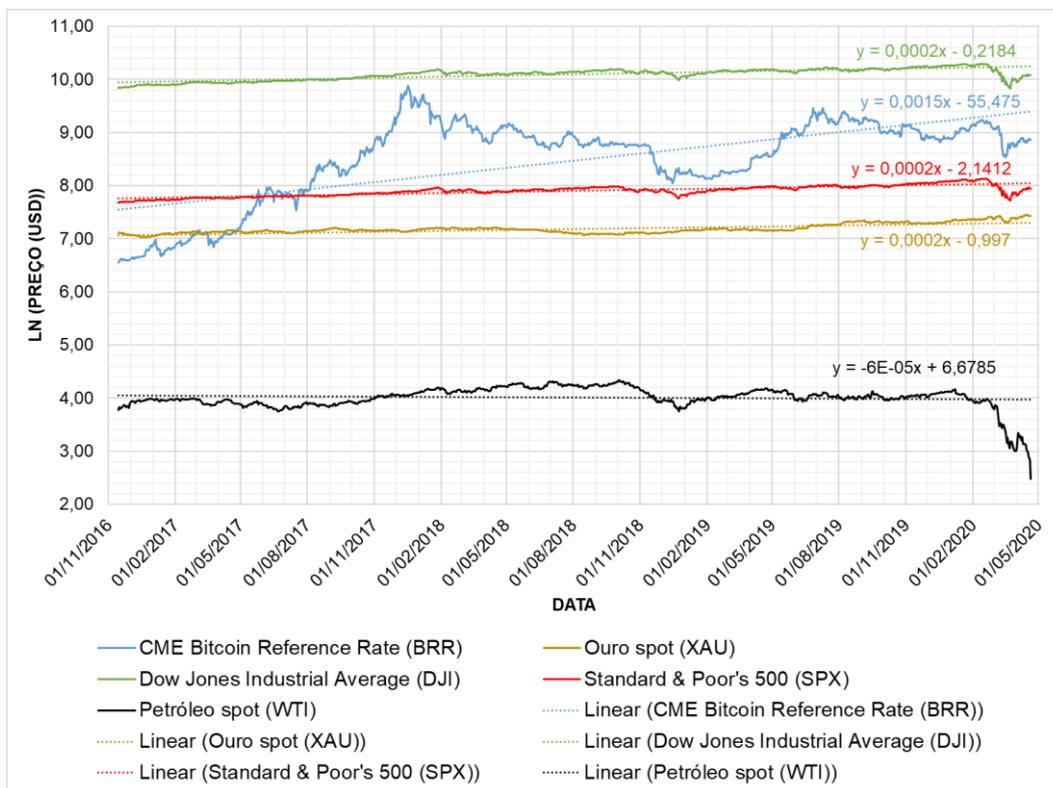
<sup>18</sup> Vide <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/who-announces-covid-19-outbreak-a-pandemic>

<sup>19</sup> Vide <https://finance.yahoo.com/news/bitcoin-sharp-price-drop-may-115522666.html>

<sup>20</sup> Vide <https://valorinveste.globo.com/mercados/cripto/noticia/2020/03/14/bitcoin-tem-maior-queda-diarria-da-historia-e-derrete-50percent-em-uma-semana-e-agora.ghtml>

estar relacionada ao maior risco de perdas do bitcoin, em comparação aos demais. Não obstante, não se pode afirmar, apenas com base nos gráficos Gráfico 4.2,

**Gráfico 4.3 Séries de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate, Ouro spot, petróleo spot, Dow Jones Industrial Average e Standard**



Fontes: CME Group, Investing.com e dados do estudo

Gráfico 4.1 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e suas considerações, e a série CME Bitcoin Reference Rate segue um processo estocástico similar a um MGB, ou mesmo a um MRM. Para identificar se a série de preços CME Bitcoin Reference Rate segue um processo estocástico similar a um MGB, primeiramente foram realizados testes expandidos de Dickey-Fuller na série transformada em logaritmo natural, no período entre 14/11/2016 e 20/04/2020, através da utilização do programa estatístico IHS Markit E-Views 10+, cujos resultados se encontram nas tabelas Tabela 4.1 e Tabela 4.2.

Pode-se identificar pelas estatísticas t dos testes que ambos falham em rejeitar a hipótese nula de que a série possui raiz unitária para os níveis de significância menores ou iguais a 10%, portanto, há evidências estatísticas de que a série de preços possui raiz unitária.

Para visualizar se a série da primeira diferença de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate aparenta possuir características de estacionariedade, foi

plotado o Gráfico 4.4. Apesar de apresentar características que sugerem estacionariedade, pois aparentemente se desenvolve em torno da média zero ao longo do tempo, faz-se necessário realizar testes expandidos de Dickey-Fuller sobre a série para verificar estatisticamente se apresenta estacionariedade. Os resultados se encontram nas tabelas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

**Tabela 4.1 Teste Expandido de Dickey-Fuller sem tendência temporal sobre a série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate**

Null Hypothesis: LN\_BRR has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.384279	0.1464
Test critical values:		
1% level	-3.435720	
5% level	-2.863799	
10% level	-2.568023	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LN\_BRR)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/13/20 Time: 19:36  
 Sample (adjusted): 11/16/2016 4/20/2020  
 Included observations: 1171 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN_BRR(-1)	-0.003785	0.001588	-2.384279	0.0173
D(LN_BRR(-1))	0.083144	0.029089	2.858279	0.0043
C	0.033872	0.013513	2.506548	0.0123

R-squared	0.011917	Mean dependent var	0.001959
Adjusted R-squared	0.010225	S.D. dependent var	0.043285
S.E. of regression	0.043063	Akaike info criterion	-3.449751
Sum squared resid	2.165956	Schwarz criterion	-3.436773
Log likelihood	2022.829	Hannan-Quinn criter.	-3.444856
F-statistic	7.043279	Durbin-Watson stat	1.990922
Prob(F-statistic)	0.000911		

Fontes: CME Group e dados do estudo

**Tabela 4.2 Teste Expandido de Dickey-Fuller com tendência temporal sobre a série de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate**

Null Hypothesis: LN\_BRR has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-1.731272	0.7369
Test critical values: 1% level	-3.965903	
5% level	-3.413654	
10% level	-3.128887	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LN\_BRR)

Method: Least Squares

Date: 05/13/20 Time: 19:39

Sample (adjusted): 11/16/2016 4/20/2020

Included observations: 1171 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN_BRR(-1)	-0.003870	0.002235	-1.731272	0.0837
D(LN_BRR(-1))	0.083233	0.029148	2.855483	0.0044
C	0.034422	0.016962	2.029406	0.0426
@TREND("11/14/2016")	2.82E-07	5.25E-06	0.053691	0.9572
R-squared	0.011919	Mean dependent var		0.001959
Adjusted R-squared	0.009379	S.D. dependent var		0.043285
S.E. of regression	0.043081	Akaike info criterion		-3.448045
Sum squared resid	2.165950	Schwarz criterion		-3.430742
Log likelihood	2022.831	Hannan-Quinn criter.		-3.441519
F-statistic	4.692472	Durbin-Watson stat		1.990926
Prob(F-statistic)	0.002906			

Fontes: CME Group e dados do estudo

**Tabela 4.3 Teste expandido de Dickey-Fuller sem tendência temporal sobre a primeira diferença da série de logaritmos naturais CME Bitcoin**

Null Hypothesis: D(LN\_BRR) has a unit root  
 Exogenous: Constant  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-31.42097	0.0000
Test critical values: 1% level	-3.435720	
5% level	-2.863799	
10% level	-2.568023	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LN\_BRR,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/13/20 Time: 19:40  
 Sample (adjusted): 11/16/2016 4/20/2020  
 Included observations: 1171 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LN_BRR(-1))	-0.915696	0.029143	-31.42097	0.0000
C	0.001793	0.001262	1.420134	0.1558
R-squared	0.457862	Mean dependent var		-1.77E-05
Adjusted R-squared	0.457398	S.D. dependent var		0.058578
S.E. of regression	0.043149	Akaike info criterion		-3.446603
Sum squared resid	2.176498	Schwarz criterion		-3.437952
Log likelihood	2019.986	Hannan-Quinn criter.		-3.443340
F-statistic	987.2772	Durbin-Watson stat		1.991023
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fontes: CME Group e dados do estudo

**Tabela 4.4 Teste expandido de Dickey-Fuller com tendência temporal sobre a primeira diferença da série de logaritmos naturais CME Bitcoin**

Null Hypothesis: D(LN\_BRR) has a unit root  
 Exogenous: Constant, Linear Trend  
 Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=22)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-31.48615	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.965903	
5% level	-3.413654	
10% level	-3.128887	

\*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

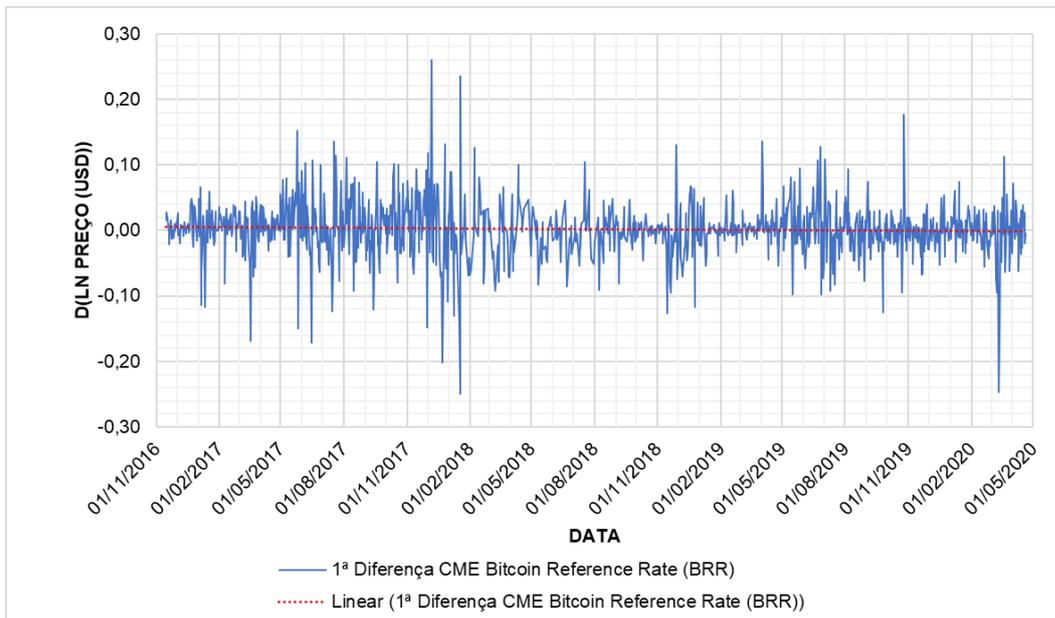
Augmented Dickey-Fuller Test Equation  
 Dependent Variable: D(LN\_BRR,2)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/13/20 Time: 19:41  
 Sample (adjusted): 11/16/2016 4/20/2020  
 Included observations: 1171 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
D(LN_BRR(-1))	-0.918189	0.029162	-31.48615	0.0000
C	0.005385	0.002531	2.127806	0.0336
@TREND("11/14/2016")	-6.11E-06	3.73E-06	-1.637355	0.1018
R-squared	0.459103	Mean dependent var	-1.77E-05	
Adjusted R-squared	0.458177	S.D. dependent var	0.058578	
S.E. of regression	0.043118	Akaike info criterion	-3.447188	
Sum squared resid	2.171513	Schwarz criterion	-3.434210	
Log likelihood	2021.329	Hannan-Quinn criter.	-3.442294	
F-statistic	495.6889	Durbin-Watson stat	1.990871	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fontes: CME Group e dados do estudo

Pode-se identificar que ambos os testes sobre a primeira diferença de logaritmos naturais da série CME Bitcoin Reference Rate, com e sem tendência temporal, rejeitaram a hipótese nula de raiz unitária, ou seja, há evidências estatísticas que essa série é estacionária. Isto posto, há evidências estatísticas que a série dos logaritmos naturais de preços CME Bitcoin Reference Rate possui uma única raiz unitária, ou seja, possui comportamento similar a um Movimento Geométrico Browniano. Não obstante, cabe ressaltar que isso não impossibilita a utilização da série para modelagem através de outros processos estocásticos, como Movimento de Reversão à Média, processo com saltos, ou mesmo através da composição de um MGB com um MRM, como a literatura sugere para utilização em casos com *commodities*.

**Gráfico 4.4 Série da primeira diferença de logaritmos naturais CME Bitcoin Reference Rate**



Fontes: CME Group e dados do estudo

## 4.2.

### Precificação de Derivativos de Criptoativos

Essa seção descreve os resultados obtidos com a aplicação das ferramentas tradicionais de precificação de derivativos às séries de preços *spot* CME Bitcoin Reference Rate (BRR) e futuro Bitcoin CME Futures May'20.

Como ferramentas para realização da precificação de derivativos, foram utilizados o programa Microsoft Excel, para geração de planilhas e realização de cálculos, e o programa Microsoft Visual Basic for Applications (VBA), para programação de macros.

#### 4.2.1.

### Precificação de Contratos Futuros de Bitcoin

O objetivo dessa seção é realizar a comparação dos resultados da precificação teórica do valor esperado, calculado na data  $T_0$ , do preço *spot* do bitcoin na data de vencimento do contrato futuro  $T$ , ou seja,  $E_{T_0}(S_T)$ , onde  $T_0 < T$ , com os preços futuros do bitcoin praticados pelo mercado na data  $T_0$ , ou seja,  $F_{T_0}$ , ou  $F_0$ ,

para fins de verificação de eventual cobrança de prêmio nos contratos futuros de bitcoin. Para isso, foi adotada a seguinte metodologia:

1) Realização do cálculo teórico do valor esperado, na data  $T_0$ , do preço *spot* do bitcoin na data de vencimento do contrato futuro  $T$ , através da aplicação da fórmula  $F_0 = S_0 e^{rT}$  (1, e considerando-se  $S_0$  como os preços à vista (*spot*) de bitcoin disponibilizados na série CME Bitcoin Reference Rate (BRR), e  $r$  como a taxa livre de risco teórica *Effective Federal Funds Rate* (EFFR);

2) Comparação dos preços futuros de bitcoin praticados pelo mercado na data  $T_0$ , disponibilizados na série Bitcoin Futures CME May'20, cuja data de vencimento é 29 de maio de 2020, com o valor esperado do preço *spot* do bitcoin na data de vencimento do contrato (calculado no item 1), através das fórmulas  $Prêmio = E_{T_0}(S_T) - F_{T_0, T}$ , onde  $T > T_0$

(  
2

Nesse estudo, para fins de cálculo do valor esperado, na data  $T_0$ , do preço *spot* do bitcoin na data de vencimento do contrato futuro  $T$ , criptoativos foram considerados como ativos de investimento que não fornecem receitas ao titular, e que possuem, para fins de simplificação, custos de estocagem zero, conforme discussão na seção 2.7.3. Os resultados da precificação entre 17 de dezembro de 2017 e 20 de abril de 2020 se encontram na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

o

r

i

a

b

a

c

k

w

a

r

d

a

t

i

**Tabela 4.5 Precificação do valor esperado do preço à vista do bitcoin no vencimento do contrato futuro e cálculos de prêmios de risco**

Data da Precificação ( $T_0$ )	Preço à vista em $T_0$ ( $S_0$ )	Prazo para o vencimento, em anos ( $T$ )	Taxa livre de risco, ao ano ( $r$ )	Preço à vista esperado em $T$ ( $F_0$ teórico)	Preço futuro do mercado ( $F_0$ mercado)	Prêmio de risco
17/12/2017	\$ 19.448,28	2,4493	1,41%	\$ 20.131,67	\$ 19.595,00	-1,14%
18/12/2017	\$ 18.842,53	2,4466	1,42%	\$ 19.508,65	\$ 19.100,00	-0,90%
19/12/2017	\$ 18.037,85	2,4438	1,42%	\$ 18.674,80	\$ 18.200,00	-1,09%
20/12/2017	\$ 16.817,38	2,4411	1,42%	\$ 17.410,55	\$ 17.040,00	-0,91%
21/12/2017	\$ 15.782,03	2,4384	1,42%	\$ 16.338,05	\$ 15.330,00	-2,71%
22/12/2017	\$ 12.902,23	2,4356	1,42%	\$ 13.356,27	\$ 14.135,00	2,41%
25/12/2017	\$ 13.826,13	2,4274	1,42%	\$ 14.311,01	\$ 13.760,00	-1,68%
26/12/2017	\$ 15.782,56	2,4247	1,42%	\$ 16.335,42	\$ 15.785,00	-1,46%
27/12/2017	\$ 15.264,37	2,4219	1,42%	\$ 15.798,46	\$ 14.690,00	-3,11%
28/12/2017	\$ 14.411,29	2,4192	1,42%	\$ 14.914,95	\$ 13.745,00	-3,50%
29/12/2017	\$ 14.486,37	2,4164	1,33%	\$ 14.959,50	\$ 14.470,00	-1,42%
01/01/2018	\$ 13.278,90	2,4082	1,33%	\$ 13.711,10	\$ 13.530,00	-0,57%
02/01/2018	\$ 13.764,00	2,4055	1,42%	\$ 14.242,27	\$ 14.855,00	1,81%
03/01/2018	\$ 15.041,85	2,4027	1,42%	\$ 15.563,92	\$ 14.975,00	-1,66%
04/01/2018	\$ 14.608,18	2,4000	1,42%	\$ 15.114,61	\$ 14.900,00	-0,62%
05/01/2018	\$ 15.984,76	2,3973	1,42%	\$ 16.538,27	\$ 16.590,00	0,13%
07/01/2018	\$ 16.494,23	2,3918	1,42%	\$ 17.064,05	\$ 16.240,00	-2,14%
08/01/2018	\$ 14.477,79	2,3890	1,42%	\$ 14.977,37	\$ 14.905,00	-0,21%
09/01/2018	\$ 14.655,83	2,3863	1,42%	\$ 15.160,96	\$ 14.750,00	-1,19%
10/01/2018	\$ 14.145,98	2,3836	1,42%	\$ 14.632,97	\$ 14.450,00	-0,55%
11/01/2018	\$ 14.050,37	2,3808	1,42%	\$ 14.533,50	\$ 13.385,00	-3,58%
12/01/2018	\$ 13.824,25	2,3781	1,42%	\$ 14.299,05	\$ 13.945,00	-1,09%
15/01/2018	\$ 14.076,14	2,3699	1,42%	\$ 14.557,89	\$ 13.490,00	-3,33%
16/01/2018	\$ 12.176,44	2,3671	1,42%	\$ 12.592,68	\$ 11.160,00	-5,29%
17/01/2018	\$ 9.489,38	2,3644	1,42%	\$ 9.813,39	\$ 10.945,00	4,76%
18/01/2018	\$ 12.011,81	2,3616	1,42%	\$ 12.421,46	\$ 11.815,00	-2,19%
19/01/2018	\$ 11.577,15	2,3589	1,42%	\$ 11.971,51	\$ 11.360,00	-2,30%
22/01/2018	\$ 10.549,13	2,3507	1,42%	\$ 10.907,20	\$ 10.355,00	-2,29%
23/01/2018	\$ 10.595,87	2,3479	1,42%	\$ 10.955,10	\$ 11.095,00	0,56%
24/01/2018	\$ 11.198,12	2,3452	1,42%	\$ 11.577,32	\$ 11.115,00	-1,80%
25/01/2018	\$ 11.067,98	2,3425	1,42%	\$ 11.442,33	\$ 11.245,00	-0,77%
26/01/2018	\$ 10.925,37	2,3397	1,42%	\$ 11.294,45	\$ 10.875,00	-1,67%
29/01/2018	\$ 11.105,09	2,3315	1,42%	\$ 11.478,90	\$ 11.170,00	-1,21%
30/01/2018	\$ 10.360,80	2,3288	1,42%	\$ 10.709,14	\$ 9.940,00	-3,31%
31/01/2018	\$ 9.931,35	2,3260	1,34%	\$ 10.245,77	\$ 10.000,00	-1,08%
01/02/2018	\$ 9.279,72	2,3233	1,42%	\$ 9.590,97	\$ 9.090,00	-2,39%
02/02/2018	\$ 8.744,10	2,3205	1,42%	\$ 9.037,03	\$ 8.585,00	-2,29%
05/02/2018	\$ 7.300,52	2,3123	1,42%	\$ 7.544,21	\$ 7.260,00	-1,72%
06/02/2018	\$ 7.237,67	2,3096	1,42%	\$ 7.478,97	\$ 7.550,00	0,42%
07/02/2018	\$ 8.209,14	2,3068	1,42%	\$ 8.482,50	\$ 8.245,00	-1,27%
08/02/2018	\$ 8.340,57	2,3041	1,42%	\$ 8.617,97	\$ 8.325,00	-1,55%
09/02/2018	\$ 8.364,71	2,3014	1,42%	\$ 8.642,58	\$ 8.610,00	-0,17%
12/02/2018	\$ 8.610,75	2,2932	1,42%	\$ 8.895,75	\$ 8.860,00	-0,18%
13/02/2018	\$ 8.533,68	2,2904	1,42%	\$ 8.815,79	\$ 8.700,00	-0,60%
14/02/2018	\$ 9.251,01	2,2877	1,42%	\$ 9.556,46	\$ 9.290,00	-1,28%
15/02/2018	\$ 9.842,22	2,2849	1,42%	\$ 10.166,80	\$ 10.090,00	-0,34%
16/02/2018	\$ 10.080,22	2,2822	1,42%	\$ 10.412,24	\$ 10.020,00	-1,74%
19/02/2018	\$ 11.116,08	2,2740	1,42%	\$ 11.480,88	\$ 11.180,00	-1,21%
20/02/2018	\$ 11.459,58	2,2712	1,42%	\$ 11.835,19	\$ 11.735,00	-0,39%
21/02/2018	\$ 10.568,12	2,2685	1,42%	\$ 10.914,09	\$ 10.370,00	-2,33%
22/02/2018	\$ 10.012,08	2,2658	1,42%	\$ 10.339,44	\$ 10.085,00	-1,14%
23/02/2018	\$ 10.319,43	2,2630	1,42%	\$ 10.656,43	\$ 10.319,40	-1,47%
26/02/2018	\$ 10.208,26	2,2548	1,42%	\$ 10.540,40	\$ 10.250,00	-1,28%
27/02/2018	\$ 10.553,75	2,2521	1,42%	\$ 10.896,70	\$ 10.660,00	-1,01%
28/02/2018	\$ 10.527,28	2,2493	1,35%	\$ 10.851,85	\$ 10.645,00	-0,88%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
01/03/2018	\$ 10.700,68	2,2466	1,42%	\$ 11.047,55	\$ 11.065,00	0,07%
02/03/2018	\$ 10.839,32	2,2438	1,42%	\$ 11.190,25	\$ 11.060,00	-0,54%
05/03/2018	\$ 11.479,82	2,2356	1,42%	\$ 11.850,10	\$ 11.615,00	-0,93%
06/03/2018	\$ 10.991,80	2,2329	1,42%	\$ 11.345,90	\$ 10.650,00	-2,93%
07/03/2018	\$ 10.648,91	2,2301	1,42%	\$ 10.991,54	\$ 9.790,00	-5,37%
08/03/2018	\$ 9.883,58	2,2274	1,42%	\$ 10.201,18	\$ 9.400,00	-3,80%
09/03/2018	\$ 9.016,25	2,2247	1,42%	\$ 9.305,62	\$ 9.015,00	-1,47%
12/03/2018	\$ 9.259,61	2,2164	1,42%	\$ 9.555,68	\$ 8.910,00	-3,26%
13/03/2018	\$ 9.051,47	2,2137	1,42%	\$ 9.340,52	\$ 9.070,00	-1,37%
14/03/2018	\$ 8.706,28	2,2110	1,42%	\$ 8.983,96	\$ 8.275,00	-3,84%
15/03/2018	\$ 8.053,44	2,2082	1,43%	\$ 8.311,81	\$ 8.235,00	-0,43%
16/03/2018	\$ 8.511,12	2,2055	1,43%	\$ 8.783,82	\$ 8.555,00	-1,24%
19/03/2018	\$ 8.562,24	2,1973	1,43%	\$ 8.835,54	\$ 8.400,00	-2,38%
20/03/2018	\$ 8.539,32	2,1945	1,44%	\$ 8.813,48	\$ 8.945,00	0,70%
21/03/2018	\$ 9.118,52	2,1918	1,44%	\$ 9.410,91	\$ 8.890,00	-2,68%
22/03/2018	\$ 8.565,83	2,1890	1,68%	\$ 8.886,71	\$ 8.630,00	-1,39%
23/03/2018	\$ 8.621,80	2,1863	1,68%	\$ 8.944,37	\$ 8.615,00	-1,78%
26/03/2018	\$ 8.071,45	2,1781	1,68%	\$ 8.372,27	\$ 7.910,00	-2,71%
27/03/2018	\$ 8.063,27	2,1753	1,68%	\$ 8.363,40	\$ 7.895,00	-2,75%
28/03/2018	\$ 7.928,96	2,1726	1,68%	\$ 8.223,71	\$ 7.875,00	-2,07%
29/03/2018	\$ 7.389,91	2,1699	1,68%	\$ 7.664,27	\$ 7.389,90	-1,74%
02/04/2018	\$ 6.936,23	2,1589	1,68%	\$ 7.192,42	\$ 6.990,00	-1,37%
03/04/2018	\$ 7.329,22	2,1562	1,69%	\$ 7.601,22	\$ 7.460,00	-0,90%
04/04/2018	\$ 6.890,76	2,1534	1,69%	\$ 7.146,15	\$ 6.860,00	-1,97%
05/04/2018	\$ 6.841,89	2,1507	1,69%	\$ 7.095,14	\$ 6.760,00	-2,34%
06/04/2018	\$ 6.612,78	2,1479	1,69%	\$ 6.857,24	\$ 6.630,00	-1,63%
09/04/2018	\$ 6.714,79	2,1397	1,69%	\$ 6.962,05	\$ 6.675,00	-2,04%
10/04/2018	\$ 6.749,86	2,1370	1,69%	\$ 6.998,09	\$ 6.840,00	-1,11%
11/04/2018	\$ 6.942,28	2,1342	1,69%	\$ 7.197,25	\$ 6.920,00	-1,91%
12/04/2018	\$ 7.679,30	2,1315	1,69%	\$ 7.960,97	\$ 7.680,00	-1,75%
13/04/2018	\$ 8.098,23	2,1288	1,69%	\$ 8.394,88	\$ 8.105,00	-1,71%
16/04/2018	\$ 7.966,43	2,1205	1,69%	\$ 8.257,10	\$ 7.980,00	-1,67%
17/04/2018	\$ 8.099,46	2,1178	1,69%	\$ 8.394,60	\$ 7.885,00	-3,07%
18/04/2018	\$ 8.083,39	2,1151	1,69%	\$ 8.377,55	\$ 8.125,00	-1,50%
19/04/2018	\$ 8.219,97	2,1123	1,69%	\$ 8.518,71	\$ 8.260,00	-1,51%
20/04/2018	\$ 8.500,75	2,1096	1,70%	\$ 8.811,15	\$ 8.540,00	-1,54%
23/04/2018	\$ 8.903,54	2,1014	1,70%	\$ 9.227,35	\$ 8.845,00	-2,09%
24/04/2018	\$ 9.285,56	2,0986	1,70%	\$ 9.622,82	\$ 9.455,00	-0,87%
26/04/2018	\$ 8.802,82	2,0932	1,70%	\$ 9.121,70	\$ 8.865,00	-1,41%
27/04/2018	\$ 9.231,12	2,0904	1,70%	\$ 9.565,06	\$ 9.231,10	-1,76%
30/04/2018	\$ 9.265,07	2,0822	1,69%	\$ 9.596,90	\$ 9.365,00	-1,22%
01/05/2018	\$ 8.905,41	2,0795	1,70%	\$ 9.225,85	\$ 8.985,00	-1,32%
02/05/2018	\$ 9.084,82	2,0767	1,70%	\$ 9.411,28	\$ 9.150,00	-1,41%
03/05/2018	\$ 9.418,50	2,0740	1,70%	\$ 9.756,50	\$ 9.675,00	-0,42%
04/05/2018	\$ 9.655,10	2,0712	1,70%	\$ 10.001,12	\$ 9.670,00	-1,68%
07/05/2018	\$ 9.254,99	2,0630	1,70%	\$ 9.585,33	\$ 9.435,00	-0,79%
08/05/2018	\$ 9.130,57	2,0603	1,70%	\$ 9.456,03	\$ 9.235,00	-1,19%
09/05/2018	\$ 9.269,39	2,0575	1,70%	\$ 9.599,35	\$ 9.280,00	-1,70%
10/05/2018	\$ 9.336,98	2,0548	1,70%	\$ 9.668,90	\$ 9.090,00	-3,11%
11/05/2018	\$ 8.599,91	2,0521	1,70%	\$ 8.905,21	\$ 8.625,00	-1,61%
14/05/2018	\$ 8.739,18	2,0438	1,70%	\$ 9.048,16	\$ 8.755,00	-1,67%
15/05/2018	\$ 8.632,83	2,0411	1,70%	\$ 8.937,63	\$ 8.555,00	-2,22%
16/05/2018	\$ 8.202,02	2,0384	1,70%	\$ 8.491,22	\$ 8.250,00	-1,46%
17/05/2018	\$ 8.313,52	2,0356	1,70%	\$ 8.606,25	\$ 8.180,00	-2,59%
18/05/2018	\$ 8.072,89	2,0329	1,70%	\$ 8.356,76	\$ 8.230,00	-0,78%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
21/05/2018	\$ 8.419,80	2,0247	1,70%	\$ 8.714,65	\$ 8.375,00	-2,03%
22/05/2018	\$ 8.225,58	2,0219	1,70%	\$ 8.513,23	\$ 8.180,00	-2,05%
23/05/2018	\$ 7.878,71	2,0192	1,70%	\$ 8.153,85	\$ 7.590,00	-3,68%
24/05/2018	\$ 7.502,85	2,0164	1,70%	\$ 7.764,50	\$ 7.580,00	-1,23%
25/05/2018	\$ 7.493,94	2,0137	1,70%	\$ 7.754,92	\$ 7.315,40	-3,00%
28/05/2018	\$ 7.269,67	2,0055	1,70%	\$ 7.521,79	\$ 7.100,00	-2,98%
29/05/2018	\$ 7.423,04	2,0027	1,70%	\$ 7.680,12	\$ 7.495,00	-1,26%
30/05/2018	\$ 7.474,95	2,0000	1,70%	\$ 7.733,47	\$ 7.320,00	-2,85%
31/05/2018	\$ 7.540,07	1,9973	1,70%	\$ 7.800,48	\$ 7.545,00	-1,73%
01/06/2018	\$ 7.420,56	1,9945	1,70%	\$ 7.676,48	\$ 7.440,00	-1,62%
04/06/2018	\$ 7.480,08	1,9863	1,70%	\$ 7.736,97	\$ 7.500,00	-1,62%
05/06/2018	\$ 7.400,85	1,9836	1,70%	\$ 7.654,67	\$ 7.625,00	-0,20%
06/06/2018	\$ 7.630,77	1,9808	1,70%	\$ 7.892,10	\$ 7.540,00	-2,38%
07/06/2018	\$ 7.688,24	1,9781	1,70%	\$ 7.951,17	\$ 7.705,00	-1,65%
08/06/2018	\$ 7.580,01	1,9753	1,70%	\$ 7.838,88	\$ 7.655,00	-1,24%
11/06/2018	\$ 6.727,15	1,9671	1,70%	\$ 6.955,92	\$ 6.750,00	-1,58%
12/06/2018	\$ 6.758,43	1,9644	1,70%	\$ 6.987,94	\$ 6.500,00	-3,81%
13/06/2018	\$ 6.439,03	1,9616	1,70%	\$ 6.657,38	\$ 6.270,00	-3,16%
14/06/2018	\$ 6.405,10	1,9589	1,90%	\$ 6.647,98	\$ 6.635,00	-0,10%
15/06/2018	\$ 6.512,51	1,9562	1,90%	\$ 6.759,12	\$ 6.530,00	-1,83%
18/06/2018	\$ 6.441,85	1,9479	1,90%	\$ 6.684,74	\$ 6.695,00	0,08%
19/06/2018	\$ 6.745,63	1,9452	1,91%	\$ 7.000,97	\$ 6.735,00	-2,07%
20/06/2018	\$ 6.753,59	1,9425	1,92%	\$ 7.010,22	\$ 6.745,00	-2,06%
21/06/2018	\$ 6.717,16	1,9397	1,92%	\$ 6.972,04	\$ 6.710,00	-2,05%
22/06/2018	\$ 6.171,12	1,9370	1,92%	\$ 6.404,95	\$ 6.165,00	-2,05%
25/06/2018	\$ 6.242,84	1,9288	1,92%	\$ 6.478,36	\$ 6.245,00	-1,98%
26/06/2018	\$ 6.173,72	1,9260	1,92%	\$ 6.406,30	\$ 6.160,00	-2,11%
27/06/2018	\$ 6.063,64	1,9233	1,91%	\$ 6.290,53	\$ 6.160,00	-1,13%
28/06/2018	\$ 6.104,83	1,9205	1,91%	\$ 6.332,93	\$ 6.085,00	-2,16%
29/06/2018	\$ 5.885,88	1,9178	1,91%	\$ 6.105,48	\$ 5.885,00	-1,99%
02/07/2018	\$ 6.608,76	1,9096	1,91%	\$ 6.854,25	\$ 6.625,00	-1,85%
03/07/2018	\$ 6.570,08	1,9068	1,91%	\$ 6.813,78	\$ 6.580,00	-1,90%
04/07/2018	\$ 6.699,27	1,9041	1,91%	\$ 6.947,40	\$ 6.575,00	-3,00%
05/07/2018	\$ 6.589,57	1,9014	1,91%	\$ 6.833,28	\$ 6.505,00	-2,69%
06/07/2018	\$ 6.560,70	1,8986	1,91%	\$ 6.802,98	\$ 6.565,00	-1,95%
09/07/2018	\$ 6.717,54	1,8904	1,91%	\$ 6.964,52	\$ 6.695,00	-2,17%
10/07/2018	\$ 6.366,37	1,8877	1,91%	\$ 6.600,09	\$ 6.355,00	-2,08%
11/07/2018	\$ 6.359,41	1,8849	1,91%	\$ 6.592,53	\$ 6.330,00	-2,24%
12/07/2018	\$ 6.182,42	1,8822	1,91%	\$ 6.408,72	\$ 6.160,00	-2,18%
13/07/2018	\$ 6.248,51	1,8795	1,91%	\$ 6.476,89	\$ 6.165,00	-2,72%
16/07/2018	\$ 6.612,69	1,8712	1,91%	\$ 6.853,31	\$ 6.675,00	-1,46%
17/07/2018	\$ 6.716,69	1,8685	1,91%	\$ 6.960,73	\$ 7.305,00	2,68%
18/07/2018	\$ 7.457,80	1,8658	1,91%	\$ 7.728,36	\$ 7.395,00	-2,45%
19/07/2018	\$ 7.452,02	1,8630	1,91%	\$ 7.721,96	\$ 7.450,00	-2,00%
20/07/2018	\$ 7.470,69	1,8603	1,91%	\$ 7.740,90	\$ 7.340,00	-2,97%
23/07/2018	\$ 7.704,18	1,8521	1,91%	\$ 7.981,59	\$ 7.735,00	-1,76%
24/07/2018	\$ 8.197,50	1,8493	1,91%	\$ 8.492,23	\$ 8.260,00	-1,55%
25/07/2018	\$ 8.188,07	1,8466	1,91%	\$ 8.482,01	\$ 8.145,00	-2,28%
26/07/2018	\$ 8.197,91	1,8438	1,91%	\$ 8.491,76	\$ 8.275,00	-1,45%
27/07/2018	\$ 7.855,26	1,8411	1,91%	\$ 8.136,40	\$ 7.960,00	-1,23%
30/07/2018	\$ 8.133,32	1,8329	1,91%	\$ 8.423,09	\$ 8.100,00	-2,21%
31/07/2018	\$ 7.729,25	1,8301	1,91%	\$ 8.004,21	\$ 7.730,00	-1,97%
01/08/2018	\$ 7.600,18	1,8274	1,91%	\$ 7.870,14	\$ 7.545,00	-2,39%
02/08/2018	\$ 7.529,93	1,8247	1,91%	\$ 7.796,98	\$ 7.525,00	-2,02%
03/08/2018	\$ 7.465,07	1,8219	1,91%	\$ 7.729,42	\$ 7.370,00	-2,71%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
06/08/2018	\$ 6.931,99	1,8137	1,91%	\$ 7.176,33	\$ 6.920,00	-2,08%
07/08/2018	\$ 7.072,67	1,8110	1,91%	\$ 7.321,59	\$ 6.990,00	-2,65%
08/08/2018	\$ 6.460,51	1,8082	1,91%	\$ 6.687,53	\$ 6.330,00	-3,15%
09/08/2018	\$ 6.456,30	1,8055	1,91%	\$ 6.682,83	\$ 6.460,00	-1,95%
10/08/2018	\$ 6.438,17	1,8027	1,91%	\$ 6.663,71	\$ 6.390,00	-2,41%
13/08/2018	\$ 6.391,67	1,7945	1,91%	\$ 6.614,54	\$ 6.230,00	-3,46%
14/08/2018	\$ 6.079,90	1,7918	1,91%	\$ 6.291,57	\$ 6.075,00	-2,02%
15/08/2018	\$ 6.365,39	1,7890	1,91%	\$ 6.586,66	\$ 6.375,00	-1,89%
16/08/2018	\$ 6.340,95	1,7863	1,92%	\$ 6.562,20	\$ 6.405,00	-1,41%
17/08/2018	\$ 6.468,48	1,7836	1,92%	\$ 6.693,83	\$ 6.480,00	-1,88%
20/08/2018	\$ 6.443,48	1,7753	1,92%	\$ 6.666,90	\$ 6.430,00	-2,11%
21/08/2018	\$ 6.408,78	1,7726	1,92%	\$ 6.630,65	\$ 6.425,00	-1,84%
22/08/2018	\$ 6.653,16	1,7699	1,92%	\$ 6.883,13	\$ 6.405,00	-4,21%
23/08/2018	\$ 6.447,74	1,7671	1,92%	\$ 6.670,26	\$ 6.405,00	-2,38%
24/08/2018	\$ 6.525,51	1,7644	1,92%	\$ 6.750,36	\$ 6.615,00	-1,19%
27/08/2018	\$ 6.722,45	1,7562	1,92%	\$ 6.952,98	\$ 6.730,00	-1,92%
28/08/2018	\$ 7.060,20	1,7534	1,92%	\$ 7.301,93	\$ 7.090,00	-1,74%
29/08/2018	\$ 7.083,81	1,7507	1,92%	\$ 7.325,97	\$ 7.000,00	-2,69%
30/08/2018	\$ 6.862,07	1,7479	1,92%	\$ 7.096,27	\$ 6.815,00	-2,39%
31/08/2018	\$ 6.925,56	1,7452	1,91%	\$ 7.160,30	\$ 7.030,00	-1,09%
02/09/2018	\$ 7.218,37	1,7397	1,91%	\$ 7.462,26	\$ 7.290,00	-1,39%
03/09/2018	\$ 7.271,78	1,7370	1,91%	\$ 7.517,08	\$ 7.260,00	-2,07%
04/09/2018	\$ 7.369,30	1,7342	1,92%	\$ 7.618,81	\$ 7.350,00	-2,14%
05/09/2018	\$ 7.009,45	1,7315	1,92%	\$ 7.246,40	\$ 6.900,00	-2,93%
06/09/2018	\$ 6.462,30	1,7288	1,92%	\$ 6.680,40	\$ 6.430,00	-2,29%
07/09/2018	\$ 6.443,11	1,7260	1,92%	\$ 6.660,21	\$ 6.390,00	-2,48%
09/09/2018	\$ 6.388,03	1,7205	1,92%	\$ 6.602,58	\$ 6.220,00	-3,59%
10/09/2018	\$ 6.306,12	1,7178	1,92%	\$ 6.517,58	\$ 6.265,00	-2,38%
11/09/2018	\$ 6.269,32	1,7151	1,92%	\$ 6.479,20	\$ 6.230,00	-2,36%
12/09/2018	\$ 6.270,75	1,7123	1,92%	\$ 6.480,34	\$ 6.290,00	-1,80%
13/09/2018	\$ 6.501,44	1,7096	1,92%	\$ 6.718,39	\$ 6.435,00	-2,61%
14/09/2018	\$ 6.443,85	1,7068	1,92%	\$ 6.658,52	\$ 6.525,00	-1,23%
16/09/2018	\$ 6.467,23	1,7014	1,92%	\$ 6.681,98	\$ 6.495,00	-1,72%
17/09/2018	\$ 6.360,82	1,6986	1,92%	\$ 6.571,69	\$ 6.230,00	-3,25%
18/09/2018	\$ 6.359,37	1,6959	1,92%	\$ 6.569,85	\$ 6.275,00	-2,80%
19/09/2018	\$ 6.310,56	1,6932	1,92%	\$ 6.519,08	\$ 6.375,00	-1,36%
20/09/2018	\$ 6.416,86	1,6904	1,92%	\$ 6.628,54	\$ 6.400,00	-2,15%
21/09/2018	\$ 6.725,11	1,6877	1,92%	\$ 6.946,59	\$ 6.740,00	-1,85%
23/09/2018	\$ 6.720,42	1,6822	1,92%	\$ 6.941,02	\$ 6.710,00	-2,08%
24/09/2018	\$ 6.606,88	1,6795	1,93%	\$ 6.824,54	\$ 6.610,00	-1,97%
25/09/2018	\$ 6.415,16	1,6767	1,93%	\$ 6.626,15	\$ 6.355,00	-2,58%
26/09/2018	\$ 6.491,78	1,6740	1,93%	\$ 6.704,94	\$ 6.485,00	-2,06%
27/09/2018	\$ 6.499,80	1,6712	2,18%	\$ 6.740,97	\$ 6.655,00	-0,80%
28/09/2018	\$ 6.647,80	1,6685	2,18%	\$ 6.894,05	\$ 6.615,00	-2,57%
30/09/2018	\$ 6.617,15	1,6630	2,18%	\$ 6.861,45	\$ 6.590,00	-2,52%
01/10/2018	\$ 6.526,02	1,6603	2,18%	\$ 6.766,55	\$ 6.540,00	-2,13%
02/10/2018	\$ 6.531,93	1,6575	2,18%	\$ 6.772,27	\$ 6.510,00	-2,47%
03/10/2018	\$ 6.465,84	1,6548	2,18%	\$ 6.703,35	\$ 6.425,00	-2,66%
04/10/2018	\$ 6.541,51	1,6521	2,18%	\$ 6.781,39	\$ 6.555,00	-2,13%
05/10/2018	\$ 6.541,74	1,6493	2,18%	\$ 6.781,23	\$ 6.530,00	-2,37%
07/10/2018	\$ 6.524,39	1,6438	2,18%	\$ 6.762,44	\$ 6.560,00	-1,92%
08/10/2018	\$ 6.612,76	1,6411	2,18%	\$ 6.853,62	\$ 6.630,00	-2,10%
09/10/2018	\$ 6.565,33	1,6384	2,18%	\$ 6.804,06	\$ 6.580,00	-2,12%
10/10/2018	\$ 6.508,63	1,6356	2,18%	\$ 6.744,89	\$ 6.540,00	-1,96%
11/10/2018	\$ 6.220,16	1,6329	2,18%	\$ 6.445,57	\$ 6.180,00	-2,67%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
12/10/2018	\$ 6.208,58	1,6301	2,18%	\$ 6.433,18	\$ 6.185,00	-2,50%
14/10/2018	\$ 6.224,43	1,6247	2,18%	\$ 6.448,83	\$ 6.155,00	-2,98%
15/10/2018	\$ 6.383,52	1,6219	2,18%	\$ 6.613,26	\$ 6.390,00	-2,20%
16/10/2018	\$ 6.442,07	1,6192	2,18%	\$ 6.673,52	\$ 6.420,00	-2,48%
17/10/2018	\$ 6.429,16	1,6164	2,19%	\$ 6.660,83	\$ 6.420,00	-2,36%
18/10/2018	\$ 6.437,13	1,6137	2,19%	\$ 6.668,69	\$ 6.390,00	-2,74%
19/10/2018	\$ 6.379,32	1,6110	2,19%	\$ 6.608,40	\$ 6.380,00	-2,26%
22/10/2018	\$ 6.393,45	1,6027	2,19%	\$ 6.621,84	\$ 6.395,00	-2,25%
23/10/2018	\$ 6.385,06	1,6000	2,20%	\$ 6.613,82	\$ 6.395,00	-2,18%
24/10/2018	\$ 6.435,74	1,5973	2,20%	\$ 6.665,91	\$ 6.425,00	-2,39%
25/10/2018	\$ 6.405,86	1,5945	2,20%	\$ 6.634,56	\$ 6.405,00	-2,29%
26/10/2018	\$ 6.391,69	1,5918	2,20%	\$ 6.619,49	\$ 6.391,70	-2,28%
28/10/2018	\$ 6.404,25	1,5863	2,20%	\$ 6.631,70	\$ 6.395,00	-2,37%
29/10/2018	\$ 6.275,66	1,5836	2,20%	\$ 6.498,15	\$ 6.240,00	-2,65%
30/10/2018	\$ 6.264,62	1,5808	2,20%	\$ 6.486,32	\$ 6.245,00	-2,48%
31/10/2018	\$ 6.261,93	1,5781	2,20%	\$ 6.483,15	\$ 6.295,00	-1,93%
01/11/2018	\$ 6.306,20	1,5753	2,20%	\$ 6.528,59	\$ 6.315,00	-2,19%
02/11/2018	\$ 6.363,46	1,5726	2,19%	\$ 6.586,44	\$ 6.345,00	-2,46%
04/11/2018	\$ 6.364,84	1,5671	2,19%	\$ 6.587,07	\$ 6.425,00	-1,65%
05/11/2018	\$ 6.409,27	1,5644	2,20%	\$ 6.633,69	\$ 6.390,00	-2,48%
06/11/2018	\$ 6.426,73	1,5616	2,20%	\$ 6.651,36	\$ 6.415,00	-2,40%
07/11/2018	\$ 6.497,37	1,5589	2,20%	\$ 6.724,07	\$ 6.510,00	-2,15%
08/11/2018	\$ 6.473,31	1,5562	2,20%	\$ 6.698,77	\$ 6.410,00	-2,93%
09/11/2018	\$ 6.343,30	1,5534	2,19%	\$ 6.562,81	\$ 6.335,00	-2,35%
11/11/2018	\$ 6.321,29	1,5479	2,19%	\$ 6.539,26	\$ 6.355,00	-1,91%
12/11/2018	\$ 6.358,19	1,5452	2,19%	\$ 6.577,03	\$ 6.325,00	-2,62%
13/11/2018	\$ 6.286,73	1,5425	2,20%	\$ 6.503,73	\$ 6.285,00	-2,30%
14/11/2018	\$ 6.138,90	1,5397	2,20%	\$ 6.350,41	\$ 5.365,00	-11,36%
15/11/2018	\$ 5.406,86	1,5370	2,20%	\$ 5.592,81	\$ 5.425,00	-2,05%
16/11/2018	\$ 5.544,00	1,5342	2,20%	\$ 5.734,32	\$ 5.450,00	-3,43%
18/11/2018	\$ 5.528,07	1,5288	2,20%	\$ 5.717,16	\$ 5.505,00	-2,56%
19/11/2018	\$ 5.108,08	1,5260	2,20%	\$ 5.282,48	\$ 4.835,00	-6,01%
20/11/2018	\$ 4.643,20	1,5233	2,20%	\$ 4.801,44	\$ 4.240,00	-8,46%
21/11/2018	\$ 4.486,70	1,5205	2,20%	\$ 4.639,33	\$ 4.390,00	-3,76%
22/11/2018	\$ 4.455,39	1,5178	2,20%	\$ 4.606,68	\$ 4.250,00	-5,50%
23/11/2018	\$ 4.278,61	1,5151	2,20%	\$ 4.423,63	\$ 4.190,00	-3,71%
25/11/2018	\$ 3.743,52	1,5096	2,20%	\$ 3.869,93	\$ 3.930,00	1,05%
26/11/2018	\$ 3.729,43	1,5068	2,20%	\$ 3.855,14	\$ 3.605,00	-4,61%
27/11/2018	\$ 3.664,40	1,5041	2,20%	\$ 3.787,69	\$ 3.720,00	-1,24%
28/11/2018	\$ 4.173,16	1,5014	2,20%	\$ 4.313,30	\$ 4.300,00	-0,21%
29/11/2018	\$ 4.261,36	1,4986	2,20%	\$ 4.404,20	\$ 4.180,00	-3,61%
30/11/2018	\$ 3.953,00	1,4959	2,20%	\$ 4.085,26	\$ 3.953,00	-2,27%
03/12/2018	\$ 3.829,50	1,4877	2,19%	\$ 3.956,32	\$ 3.800,00	-2,80%
04/12/2018	\$ 3.992,42	1,4849	2,20%	\$ 4.125,00	\$ 3.840,00	-4,99%
05/12/2018	\$ 3.821,81	1,4822	2,20%	\$ 3.948,49	\$ 3.705,00	-4,44%
06/12/2018	\$ 3.624,51	1,4795	2,20%	\$ 3.744,42	\$ 3.600,00	-2,75%
07/12/2018	\$ 3.379,26	1,4767	2,19%	\$ 3.490,33	\$ 3.300,00	-3,93%
10/12/2018	\$ 3.411,32	1,4685	2,20%	\$ 3.523,33	\$ 3.375,00	-3,03%
11/12/2018	\$ 3.335,12	1,4658	2,19%	\$ 3.443,91	\$ 3.320,00	-2,58%
12/12/2018	\$ 3.423,62	1,4630	2,19%	\$ 3.535,09	\$ 3.420,00	-2,34%
13/12/2018	\$ 3.390,02	1,4603	2,19%	\$ 3.500,18	\$ 3.215,00	-6,02%
14/12/2018	\$ 3.239,22	1,4575	2,19%	\$ 3.344,28	\$ 3.145,00	-4,36%
16/12/2018	\$ 3.205,47	1,4521	2,19%	\$ 3.309,04	\$ 3.170,00	-3,05%
17/12/2018	\$ 3.390,02	1,4493	2,20%	\$ 3.499,85	\$ 3.530,00	0,61%
18/12/2018	\$ 3.533,12	1,4466	2,20%	\$ 3.647,37	\$ 3.495,00	-3,05%

Data da Precificação (T <sub>0</sub> )	Preço à vista em T <sub>0</sub> (S <sub>0</sub> )	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (F <sub>0</sub> teórico)	Preço futuro do mercado (F <sub>0</sub> mercado)	Prêmio de risco
19/12/2018	\$ 3.781,28	1,4438	2,20%	\$ 3.903,32	\$ 3.695,00	-3,92%
20/12/2018	\$ 4.032,50	1,4411	2,40%	\$ 4.174,41	\$ 3.875,00	-5,35%
21/12/2018	\$ 3.991,98	1,4384	2,40%	\$ 4.132,19	\$ 3.775,00	-6,52%
23/12/2018	\$ 3.931,16	1,4329	2,40%	\$ 4.068,70	\$ 3.925,00	-2,60%
24/12/2018	\$ 4.187,75	1,4301	2,40%	\$ 4.333,98	\$ 4.070,00	-4,55%
25/12/2018	\$ 3.725,95	1,4274	2,40%	\$ 3.855,80	\$ 3.745,00	-2,11%
26/12/2018	\$ 3.728,54	1,4247	2,40%	\$ 3.858,23	\$ 3.760,00	-1,87%
27/12/2018	\$ 3.736,50	1,4219	2,40%	\$ 3.866,21	\$ 3.565,00	-5,91%
28/12/2018	\$ 3.708,56	1,4192	2,40%	\$ 3.837,05	\$ 3.708,60	-2,48%
30/12/2018	\$ 3.810,12	1,4137	2,40%	\$ 3.941,61	\$ 3.802,50	-2,63%
31/12/2018	\$ 3.764,28	1,4110	2,40%	\$ 3.893,93	\$ 3.650,00	-4,75%
01/01/2019	\$ 3.682,51	1,4082	2,40%	\$ 3.809,10	\$ 3.795,00	-0,27%
02/01/2019	\$ 3.825,11	1,4055	2,40%	\$ 3.956,34	\$ 3.830,00	-2,39%
03/01/2019	\$ 3.839,76	1,4027	2,40%	\$ 3.971,23	\$ 3.760,00	-4,03%
04/01/2019	\$ 3.748,11	1,4000	2,40%	\$ 3.876,19	\$ 3.745,00	-2,54%
06/01/2019	\$ 3.829,33	1,3945	2,40%	\$ 3.959,66	\$ 4.027,50	1,26%
07/01/2019	\$ 4.022,42	1,3918	2,40%	\$ 4.159,05	\$ 3.985,00	-3,18%
08/01/2019	\$ 4.065,12	1,3890	2,40%	\$ 4.202,92	\$ 3.985,00	-3,97%
09/01/2019	\$ 3.994,47	1,3863	2,40%	\$ 4.129,61	\$ 3.990,00	-2,57%
10/01/2019	\$ 3.782,10	1,3836	2,40%	\$ 3.909,79	\$ 3.605,00	-6,07%
11/01/2019	\$ 3.646,95	1,3808	2,40%	\$ 3.769,83	\$ 3.635,00	-2,73%
13/01/2019	\$ 3.611,18	1,3753	2,40%	\$ 3.732,37	\$ 3.492,50	-5,00%
14/01/2019	\$ 3.594,27	1,3726	2,40%	\$ 3.714,65	\$ 3.650,00	-1,32%
15/01/2019	\$ 3.635,08	1,3699	2,40%	\$ 3.756,58	\$ 3.535,00	-4,59%
16/01/2019	\$ 3.616,10	1,3671	2,40%	\$ 3.736,72	\$ 3.560,00	-3,66%
17/01/2019	\$ 3.600,43	1,3644	2,40%	\$ 3.720,28	\$ 3.605,00	-2,39%
18/01/2019	\$ 3.617,82	1,3616	2,40%	\$ 3.738,00	\$ 3.585,00	-3,17%
20/01/2019	\$ 3.523,58	1,3562	2,40%	\$ 3.640,15	\$ 3.517,50	-2,61%
21/01/2019	\$ 3.536,34	1,3534	2,40%	\$ 3.653,09	\$ 3.517,50	-2,89%
22/01/2019	\$ 3.569,86	1,3507	2,40%	\$ 3.687,48	\$ 3.580,00	-2,26%
23/01/2019	\$ 3.568,26	1,3479	2,40%	\$ 3.685,58	\$ 3.535,00	-3,20%
24/01/2019	\$ 3.555,81	1,3452	2,40%	\$ 3.672,48	\$ 3.565,00	-2,28%
25/01/2019	\$ 3.560,00	1,3425	2,40%	\$ 3.676,57	\$ 3.560,00	-2,48%
27/01/2019	\$ 3.538,60	1,3370	2,40%	\$ 3.653,99	\$ 3.497,50	-3,38%
28/01/2019	\$ 3.403,09	1,3342	2,40%	\$ 3.513,83	\$ 3.380,00	-3,01%
29/01/2019	\$ 3.399,78	1,3315	2,40%	\$ 3.510,18	\$ 3.370,00	-3,16%
30/01/2019	\$ 3.439,54	1,3288	2,40%	\$ 3.551,00	\$ 3.410,00	-3,15%
31/01/2019	\$ 3.411,77	1,3260	2,40%	\$ 3.522,09	\$ 3.395,00	-2,86%
01/02/2019	\$ 3.429,88	1,3233	2,40%	\$ 3.540,56	\$ 3.425,00	-2,59%
03/02/2019	\$ 3.419,86	1,3178	2,40%	\$ 3.529,75	\$ 3.397,50	-2,99%
04/02/2019	\$ 3.408,72	1,3151	2,40%	\$ 3.518,02	\$ 3.395,00	-2,80%
05/02/2019	\$ 3.418,51	1,3123	2,40%	\$ 3.527,89	\$ 3.400,00	-2,91%
06/02/2019	\$ 3.364,78	1,3096	2,40%	\$ 3.472,22	\$ 3.340,00	-3,06%
07/02/2019	\$ 3.363,48	1,3068	2,40%	\$ 3.470,65	\$ 3.340,00	-3,03%
08/02/2019	\$ 3.422,24	1,3041	2,40%	\$ 3.531,05	\$ 3.615,00	1,86%
10/02/2019	\$ 3.592,48	1,2986	2,40%	\$ 3.706,21	\$ 3.645,00	-1,32%
11/02/2019	\$ 3.599,83	1,2959	2,40%	\$ 3.713,55	\$ 3.605,00	-2,36%
12/02/2019	\$ 3.573,09	1,2932	2,40%	\$ 3.685,72	\$ 3.605,00	-1,77%
13/02/2019	\$ 3.568,72	1,2904	2,40%	\$ 3.680,97	\$ 3.570,00	-2,45%
14/02/2019	\$ 3.567,60	1,2877	2,40%	\$ 3.679,57	\$ 3.565,00	-2,53%
15/02/2019	\$ 3.555,41	1,2849	2,40%	\$ 3.666,76	\$ 3.565,00	-2,26%
17/02/2019	\$ 3.572,44	1,2795	2,40%	\$ 3.683,84	\$ 3.627,50	-1,24%
18/02/2019	\$ 3.796,42	1,2767	2,40%	\$ 3.914,55	\$ 3.867,50	-0,98%
19/02/2019	\$ 3.944,32	1,2740	2,40%	\$ 4.066,78	\$ 3.935,00	-2,67%
20/02/2019	\$ 3.915,28	1,2712	2,40%	\$ 4.036,57	\$ 3.935,00	-2,07%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
21/02/2019	\$ 3.894,11	1,2685	2,40%	\$ 4.014,48	\$ 3.895,00	-2,46%
22/02/2019	\$ 3.930,77	1,2658	2,40%	\$ 4.052,01	\$ 3.930,80	-2,47%
24/02/2019	\$ 3.793,18	1,2603	2,40%	\$ 3.909,66	\$ 3.712,50	-4,24%
25/02/2019	\$ 3.784,41	1,2575	2,40%	\$ 3.900,37	\$ 3.820,00	-1,71%
26/02/2019	\$ 3.810,18	1,2548	2,40%	\$ 3.926,67	\$ 3.775,00	-3,24%
27/02/2019	\$ 3.799,44	1,2521	2,40%	\$ 3.915,34	\$ 3.710,00	-4,44%
28/02/2019	\$ 3.831,83	1,2493	2,40%	\$ 3.948,46	\$ 3.790,00	-3,38%
01/03/2019	\$ 3.817,06	1,2466	2,40%	\$ 3.932,98	\$ 3.820,00	-2,41%
03/03/2019	\$ 3.793,75	1,2411	2,40%	\$ 3.908,45	\$ 3.777,50	-2,83%
04/03/2019	\$ 3.708,00	1,2384	2,40%	\$ 3.819,86	\$ 3.690,00	-2,88%
05/03/2019	\$ 3.825,55	1,2356	2,40%	\$ 3.940,69	\$ 3.835,00	-2,27%
06/03/2019	\$ 3.845,74	1,2329	2,40%	\$ 3.961,23	\$ 3.840,00	-2,60%
07/03/2019	\$ 3.871,44	1,2301	2,40%	\$ 3.987,44	\$ 3.870,00	-2,50%
08/03/2019	\$ 3.888,37	1,2274	2,40%	\$ 4.004,62	\$ 3.890,00	-2,44%
10/03/2019	\$ 3.893,11	1,2219	2,40%	\$ 4.008,97	\$ 3.897,50	-2,38%
11/03/2019	\$ 3.838,70	1,2192	2,40%	\$ 3.952,68	\$ 3.835,00	-2,55%
12/03/2019	\$ 3.862,08	1,2164	2,40%	\$ 3.976,49	\$ 3.845,00	-2,85%
13/03/2019	\$ 3.846,53	1,2137	2,40%	\$ 3.960,22	\$ 3.845,00	-2,51%
14/03/2019	\$ 3.853,80	1,2110	2,40%	\$ 3.967,45	\$ 3.845,00	-2,67%
15/03/2019	\$ 3.896,42	1,2082	2,40%	\$ 4.011,06	\$ 3.900,00	-2,39%
17/03/2019	\$ 3.970,88	1,2027	2,40%	\$ 4.087,17	\$ 3.967,50	-2,54%
18/03/2019	\$ 3.964,35	1,2000	2,40%	\$ 4.080,18	\$ 3.960,00	-2,57%
19/03/2019	\$ 3.975,97	1,1973	2,40%	\$ 4.091,87	\$ 3.995,00	-2,06%
20/03/2019	\$ 4.000,03	1,1945	2,41%	\$ 4.116,86	\$ 4.010,00	-2,27%
21/03/2019	\$ 3.962,91	1,1918	2,41%	\$ 4.078,38	\$ 3.965,00	-2,44%
22/03/2019	\$ 3.988,71	1,1890	2,41%	\$ 4.104,66	\$ 3.980,00	-2,67%
24/03/2019	\$ 3.970,99	1,1836	2,41%	\$ 4.085,89	\$ 3.962,50	-2,67%
25/03/2019	\$ 3.961,05	1,1808	2,40%	\$ 4.074,91	\$ 3.895,00	-3,94%
26/03/2019	\$ 3.911,27	1,1781	2,40%	\$ 4.023,44	\$ 3.905,00	-2,61%
27/03/2019	\$ 4.005,79	1,1753	2,41%	\$ 4.120,88	\$ 4.005,00	-2,50%
28/03/2019	\$ 4.015,07	1,1726	2,41%	\$ 4.130,15	\$ 4.010,00	-2,59%
29/03/2019	\$ 4.079,36	1,1699	2,43%	\$ 4.196,99	\$ 4.079,00	-2,51%
31/03/2019	\$ 4.091,86	1,1644	2,43%	\$ 4.209,29	\$ 4.085,00	-2,65%
01/04/2019	\$ 4.139,83	1,1616	2,41%	\$ 4.257,36	\$ 4.125,00	-2,80%
02/04/2019	\$ 4.741,30	1,1589	2,41%	\$ 4.875,59	\$ 4.775,00	-1,85%
03/04/2019	\$ 5.022,05	1,1562	2,41%	\$ 5.163,95	\$ 5.150,00	-0,24%
04/04/2019	\$ 5.019,97	1,1534	2,41%	\$ 5.161,47	\$ 4.840,00	-5,74%
05/04/2019	\$ 5.001,90	1,1507	2,41%	\$ 5.142,55	\$ 5.020,00	-2,16%
07/04/2019	\$ 5.139,27	1,1452	2,41%	\$ 5.283,09	\$ 5.200,00	-1,42%
08/04/2019	\$ 5.212,97	1,1425	2,41%	\$ 5.358,50	\$ 5.210,00	-2,53%
09/04/2019	\$ 5.203,14	1,1397	2,41%	\$ 5.348,04	\$ 5.220,00	-2,19%
10/04/2019	\$ 5.268,04	1,1370	2,41%	\$ 5.414,39	\$ 5.415,00	0,01%
11/04/2019	\$ 5.037,74	1,1342	2,41%	\$ 5.177,35	\$ 5.075,00	-1,81%
12/04/2019	\$ 5.073,75	1,1315	2,41%	\$ 5.214,01	\$ 5.065,00	-2,63%
14/04/2019	\$ 5.071,79	1,1260	2,41%	\$ 5.211,31	\$ 5.167,50	-0,77%
15/04/2019	\$ 5.153,19	1,1233	2,41%	\$ 5.294,60	\$ 5.010,00	-5,06%
16/04/2019	\$ 5.042,76	1,1205	2,41%	\$ 5.180,80	\$ 5.200,00	0,34%
17/04/2019	\$ 5.201,13	1,1178	2,42%	\$ 5.343,75	\$ 5.235,00	-1,89%
18/04/2019	\$ 5.245,36	1,1151	2,43%	\$ 5.389,43	\$ 5.295,00	-1,63%
19/04/2019	\$ 5.247,11	1,1123	2,44%	\$ 5.391,47	\$ 5.320,00	-1,23%
21/04/2019	\$ 5.266,31	1,1068	2,44%	\$ 5.410,48	\$ 5.305,00	-1,83%
22/04/2019	\$ 5.310,69	1,1041	2,44%	\$ 5.455,71	\$ 5.395,00	-1,04%
23/04/2019	\$ 5.576,62	1,1014	2,44%	\$ 5.728,51	\$ 5.590,00	-2,28%
24/04/2019	\$ 5.458,98	1,0986	2,44%	\$ 5.607,30	\$ 5.435,00	-2,92%
25/04/2019	\$ 5.445,73	1,0959	2,44%	\$ 5.593,31	\$ 5.490,00	-1,75%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
26/04/2019	\$ 5.162,34	1,0932	2,44%	\$ 5.301,89	\$ 5.162,30	-2,51%
28/04/2019	\$ 5.170,17	1,0877	2,44%	\$ 5.309,22	\$ 5.150,00	-2,88%
29/04/2019	\$ 5.156,93	1,0849	2,45%	\$ 5.295,84	\$ 5.140,00	-2,83%
30/04/2019	\$ 5.262,67	1,0822	2,45%	\$ 5.404,07	\$ 5.230,00	-3,11%
01/05/2019	\$ 5.289,67	1,0795	2,45%	\$ 5.431,43	\$ 5.300,00	-2,33%
02/05/2019	\$ 5.373,29	1,0767	2,41%	\$ 5.514,55	\$ 5.390,00	-2,18%
03/05/2019	\$ 5.750,55	1,0740	2,40%	\$ 5.900,70	\$ 5.670,00	-3,81%
05/05/2019	\$ 5.714,19	1,0685	2,40%	\$ 5.862,62	\$ 5.722,50	-2,32%
06/05/2019	\$ 5.649,44	1,0658	2,40%	\$ 5.795,81	\$ 5.745,00	-0,85%
07/05/2019	\$ 5.847,82	1,0630	2,40%	\$ 5.998,93	\$ 5.845,00	-2,51%
08/05/2019	\$ 5.851,80	1,0603	2,39%	\$ 6.001,98	\$ 5.900,00	-1,66%
09/05/2019	\$ 6.005,41	1,0575	2,38%	\$ 6.158,48	\$ 6.065,00	-1,48%
10/05/2019	\$ 6.251,77	1,0548	2,38%	\$ 6.410,70	\$ 6.365,00	-0,70%
12/05/2019	\$ 7.086,38	1,0493	2,38%	\$ 7.265,58	\$ 6.985,00	-3,85%
13/05/2019	\$ 7.453,59	1,0466	2,38%	\$ 7.641,58	\$ 7.950,00	3,87%
14/05/2019	\$ 8.085,65	1,0438	2,38%	\$ 8.289,04	\$ 7.780,00	-6,23%
15/05/2019	\$ 7.965,31	1,0411	2,40%	\$ 8.166,84	\$ 8.225,00	0,70%
16/05/2019	\$ 7.939,81	1,0384	2,39%	\$ 8.139,32	\$ 7.875,00	-3,26%
17/05/2019	\$ 7.203,74	1,0356	2,39%	\$ 7.384,27	\$ 7.180,00	-2,78%
19/05/2019	\$ 7.930,92	1,0301	2,39%	\$ 8.128,60	\$ 8.247,50	1,44%
20/05/2019	\$ 7.760,22	1,0274	2,39%	\$ 7.953,13	\$ 7.850,00	-1,30%
21/05/2019	\$ 7.923,54	1,0247	2,39%	\$ 8.119,98	\$ 8.050,00	-0,87%
22/05/2019	\$ 7.871,90	1,0219	2,38%	\$ 8.065,70	\$ 7.950,00	-1,45%
23/05/2019	\$ 7.718,62	1,0192	2,38%	\$ 7.908,14	\$ 7.810,00	-1,26%
24/05/2019	\$ 8.018,83	1,0164	2,38%	\$ 8.215,18	\$ 8.085,00	-1,61%
26/05/2019	\$ 7.995,32	1,0110	2,38%	\$ 8.190,03	\$ 8.835,00	7,67%
27/05/2019	\$ 8.796,63	1,0082	2,38%	\$ 9.010,26	\$ 8.882,50	-1,45%
28/05/2019	\$ 8.684,24	1,0055	2,39%	\$ 8.895,46	\$ 8.705,00	-2,21%
29/05/2019	\$ 8.717,94	1,0027	2,39%	\$ 8.929,39	\$ 8.690,00	-2,78%
30/05/2019	\$ 8.723,08	1,0000	2,39%	\$ 8.934,07	\$ 8.620,00	-3,67%
31/05/2019	\$ 8.414,18	0,9973	2,40%	\$ 8.618,00	\$ 8.414,20	-2,46%
02/06/2019	\$ 8.701,10	0,9918	2,40%	\$ 8.910,69	\$ 8.840,00	-0,82%
03/06/2019	\$ 8.454,01	0,9890	2,38%	\$ 8.655,37	\$ 8.640,00	-0,18%
04/06/2019	\$ 7.972,66	0,9863	2,38%	\$ 8.162,02	\$ 7.625,00	-7,07%
05/06/2019	\$ 7.734,90	0,9836	2,38%	\$ 7.918,10	\$ 7.835,00	-1,10%
06/06/2019	\$ 7.687,87	0,9808	2,37%	\$ 7.868,67	\$ 7.610,00	-3,49%
07/06/2019	\$ 7.967,53	0,9781	2,37%	\$ 8.154,38	\$ 8.010,00	-1,87%
09/06/2019	\$ 7.747,28	0,9726	2,37%	\$ 7.927,93	\$ 7.665,00	-3,55%
10/06/2019	\$ 7.957,04	0,9699	2,37%	\$ 8.142,06	\$ 8.010,00	-1,73%
11/06/2019	\$ 7.796,04	0,9671	2,37%	\$ 7.976,80	\$ 7.920,00	-0,76%
12/06/2019	\$ 8.002,58	0,9644	2,37%	\$ 8.187,59	\$ 8.195,00	0,10%
13/06/2019	\$ 8.159,09	0,9616	2,37%	\$ 8.347,18	\$ 8.285,00	-0,80%
14/06/2019	\$ 8.404,18	0,9589	2,36%	\$ 8.596,54	\$ 8.440,00	-1,96%
16/06/2019	\$ 9.270,46	0,9534	2,36%	\$ 9.481,42	\$ 9.080,00	-4,64%
17/06/2019	\$ 9.327,22	0,9507	2,38%	\$ 9.540,67	\$ 9.380,00	-1,83%
18/06/2019	\$ 9.143,17	0,9479	2,37%	\$ 9.350,91	\$ 9.115,00	-2,76%
19/06/2019	\$ 9.102,29	0,9452	2,37%	\$ 9.308,49	\$ 9.210,00	-1,15%
20/06/2019	\$ 9.338,80	0,9425	2,37%	\$ 9.549,74	\$ 9.625,00	0,85%
21/06/2019	\$ 9.787,40	0,9397	2,38%	\$ 10.008,77	\$ 9.980,00	-0,31%
23/06/2019	\$ 10.680,48	0,9342	2,38%	\$ 10.920,62	\$ 11.030,00	1,09%
24/06/2019	\$ 10.890,28	0,9315	2,38%	\$ 11.134,41	\$ 10.945,00	-1,88%
25/06/2019	\$ 11.311,05	0,9288	2,38%	\$ 11.563,86	\$ 11.380,00	-1,76%
26/06/2019	\$ 12.847,73	0,9260	2,38%	\$ 13.134,03	\$ 13.885,00	6,13%
27/06/2019	\$ 11.652,16	0,9233	2,38%	\$ 11.911,04	\$ 10.855,00	-10,29%
28/06/2019	\$ 11.763,79	0,9205	2,40%	\$ 12.026,58	\$ 11.763,80	-2,45%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
30/06/2019	\$ 11.073,70	0,9151	2,40%	\$ 11.319,59	\$ 10.965,00	-3,56%
01/07/2019	\$ 10.495,28	0,9123	2,39%	\$ 10.726,64	\$ 10.375,00	-3,74%
02/07/2019	\$ 10.198,86	0,9096	2,40%	\$ 10.423,95	\$ 10.990,00	5,94%
03/07/2019	\$ 11.360,42	0,9068	2,41%	\$ 11.611,44	\$ 11.370,00	-2,37%
04/07/2019	\$ 11.874,62	0,9041	2,41%	\$ 12.136,20	\$ 11.300,00	-8,08%
05/07/2019	\$ 11.311,80	0,9014	2,42%	\$ 11.561,26	\$ 11.285,00	-2,74%
07/07/2019	\$ 11.383,12	0,8959	2,42%	\$ 11.632,61	\$ 11.640,00	0,07%
08/07/2019	\$ 11.891,94	0,8932	2,41%	\$ 12.150,69	\$ 12.445,00	2,74%
09/07/2019	\$ 12.374,43	0,8904	2,41%	\$ 12.642,84	\$ 12.760,00	1,06%
10/07/2019	\$ 12.856,31	0,8877	2,41%	\$ 13.134,31	\$ 12.270,00	-7,84%
11/07/2019	\$ 11.728,74	0,8849	2,40%	\$ 11.980,50	\$ 11.730,00	-2,44%
12/07/2019	\$ 11.697,74	0,8822	2,38%	\$ 11.945,94	\$ 11.730,00	-2,11%
14/07/2019	\$ 10.648,20	0,8767	2,38%	\$ 10.872,72	\$ 10.217,50	-7,24%
15/07/2019	\$ 10.526,03	0,8740	2,40%	\$ 10.749,15	\$ 10.910,00	1,74%
16/07/2019	\$ 10.454,16	0,8712	2,41%	\$ 10.675,98	\$ 9.730,00	-10,89%
17/07/2019	\$ 9.620,33	0,8685	2,41%	\$ 9.823,81	\$ 9.795,00	-0,35%
18/07/2019	\$ 9.732,62	0,8658	2,41%	\$ 9.937,82	\$ 10.550,00	7,05%
19/07/2019	\$ 10.347,46	0,8630	2,41%	\$ 10.564,93	\$ 10.460,00	-1,18%
21/07/2019	\$ 10.465,18	0,8575	2,41%	\$ 10.683,71	\$ 10.710,00	0,29%
22/07/2019	\$ 10.411,14	0,8548	2,40%	\$ 10.626,93	\$ 10.145,00	-5,54%
23/07/2019	\$ 9.952,69	0,8521	2,40%	\$ 10.158,31	\$ 10.150,00	-0,10%
24/07/2019	\$ 9.789,61	0,8493	2,40%	\$ 9.991,20	\$ 9.640,00	-4,30%
25/07/2019	\$ 9.987,75	0,8466	2,40%	\$ 10.192,75	\$ 9.865,00	-3,94%
26/07/2019	\$ 9.763,48	0,8438	2,40%	\$ 9.963,23	\$ 9.763,50	-2,45%
28/07/2019	\$ 9.491,42	0,8384	2,40%	\$ 9.684,33	\$ 9.610,00	-0,94%
29/07/2019	\$ 9.525,16	0,8356	2,40%	\$ 9.718,11	\$ 9.530,00	-2,39%
30/07/2019	\$ 9.563,15	0,8329	2,39%	\$ 9.755,42	\$ 9.735,00	-0,26%
31/07/2019	\$ 9.978,39	0,8301	2,40%	\$ 10.179,19	\$ 10.115,00	-0,78%
01/08/2019	\$ 10.015,75	0,8274	2,14%	\$ 10.194,67	\$ 10.450,00	3,04%
02/08/2019	\$ 10.547,17	0,8247	2,14%	\$ 10.734,96	\$ 10.600,00	-1,56%
04/08/2019	\$ 10.733,99	0,8192	2,14%	\$ 10.923,82	\$ 11.127,50	2,29%
05/08/2019	\$ 11.784,17	0,8164	2,13%	\$ 11.990,89	\$ 11.910,00	-0,84%
06/08/2019	\$ 11.737,89	0,8137	2,13%	\$ 11.943,10	\$ 11.830,00	-1,19%
07/08/2019	\$ 12.060,73	0,8110	2,12%	\$ 12.269,87	\$ 11.885,00	-4,00%
08/08/2019	\$ 11.688,64	0,8082	2,12%	\$ 11.890,64	\$ 11.690,00	-2,14%
09/08/2019	\$ 11.749,11	0,8055	2,12%	\$ 11.951,46	\$ 11.945,00	-0,07%
11/08/2019	\$ 11.379,20	0,8000	2,12%	\$ 11.573,84	\$ 11.655,00	0,89%
12/08/2019	\$ 11.369,33	0,7973	2,12%	\$ 11.563,13	\$ 11.560,00	-0,03%
13/08/2019	\$ 10.970,07	0,7945	2,12%	\$ 11.156,41	\$ 10.945,00	-2,45%
14/08/2019	\$ 10.479,36	0,7918	2,12%	\$ 10.656,75	\$ 10.160,00	-6,13%
15/08/2019	\$ 10.016,49	0,7890	2,13%	\$ 10.186,26	\$ 10.130,00	-0,71%
16/08/2019	\$ 10.116,08	0,7863	2,13%	\$ 10.286,93	\$ 10.515,00	2,84%
18/08/2019	\$ 10.444,91	0,7808	2,13%	\$ 10.620,08	\$ 10.357,50	-3,26%
19/08/2019	\$ 10.725,13	0,7781	2,13%	\$ 10.904,36	\$ 10.745,00	-1,92%
20/08/2019	\$ 10.628,66	0,7753	2,13%	\$ 10.805,65	\$ 10.775,00	-0,37%
21/08/2019	\$ 9.999,86	0,7726	2,12%	\$ 10.165,00	\$ 10.115,00	-0,65%
22/08/2019	\$ 10.089,15	0,7699	2,12%	\$ 10.255,17	\$ 10.185,00	-0,91%
23/08/2019	\$ 10.401,77	0,7671	2,12%	\$ 10.572,32	\$ 10.460,00	-1,42%
25/08/2019	\$ 10.118,47	0,7616	2,12%	\$ 10.283,18	\$ 10.250,00	-0,43%
26/08/2019	\$ 10.328,06	0,7589	2,12%	\$ 10.495,57	\$ 10.330,00	-2,13%
27/08/2019	\$ 10.158,90	0,7562	2,12%	\$ 10.323,07	\$ 10.165,00	-2,07%
28/08/2019	\$ 10.185,83	0,7534	2,12%	\$ 10.349,83	\$ 9.645,00	-9,52%
29/08/2019	\$ 9.433,40	0,7507	2,12%	\$ 9.584,73	\$ 9.505,00	-1,13%
30/08/2019	\$ 9.583,96	0,7479	2,13%	\$ 9.737,87	\$ 9.584,00	-2,16%
01/09/2019	\$ 9.587,55	0,7425	2,13%	\$ 9.740,38	\$ 9.877,50	1,91%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
02/09/2019	\$ 9.941,97	0,7397	2,13%	\$ 10.099,86	\$ 10.507,50	5,43%
03/09/2019	\$ 10.711,50	0,7370	2,13%	\$ 10.880,97	\$ 10.800,00	-1,03%
04/09/2019	\$ 10.428,02	0,7342	2,13%	\$ 10.592,39	\$ 10.835,00	3,13%
05/09/2019	\$ 10.569,11	0,7315	2,13%	\$ 10.735,08	\$ 10.625,00	-1,43%
06/09/2019	\$ 10.877,98	0,7288	2,12%	\$ 11.047,35	\$ 10.460,00	-7,62%
08/09/2019	\$ 10.413,41	0,7233	2,12%	\$ 10.574,32	\$ 10.475,00	-1,32%
09/09/2019	\$ 10.338,88	0,7205	2,13%	\$ 10.498,78	\$ 10.370,00	-1,74%
10/09/2019	\$ 10.213,84	0,7178	2,13%	\$ 10.371,20	\$ 10.060,00	-4,31%
11/09/2019	\$ 10.014,20	0,7151	2,13%	\$ 10.167,89	\$ 10.125,00	-0,60%
12/09/2019	\$ 10.306,36	0,7123	2,13%	\$ 10.463,93	\$ 10.410,00	-0,74%
13/09/2019	\$ 10.305,53	0,7096	2,14%	\$ 10.463,22	\$ 10.265,00	-2,74%
15/09/2019	\$ 10.286,95	0,7041	2,14%	\$ 10.443,13	\$ 10.365,00	-1,08%
16/09/2019	\$ 10.138,69	0,7014	2,25%	\$ 10.299,96	\$ 10.135,00	-2,34%
17/09/2019	\$ 10.195,61	0,6986	2,30%	\$ 10.360,76	\$ 10.305,00	-0,78%
18/09/2019	\$ 10.179,31	0,6959	2,25%	\$ 10.339,95	\$ 10.205,00	-1,92%
19/09/2019	\$ 9.861,06	0,6932	1,90%	\$ 9.991,79	\$ 10.155,00	2,37%
20/09/2019	\$ 10.169,41	0,6904	1,90%	\$ 10.303,69	\$ 10.180,00	-1,77%
22/09/2019	\$ 9.964,97	0,6849	1,90%	\$ 10.095,50	\$ 10.045,00	-0,74%
23/09/2019	\$ 9.858,67	0,6822	1,90%	\$ 9.987,29	\$ 9.805,00	-2,74%
24/09/2019	\$ 9.540,45	0,6795	1,90%	\$ 9.664,41	\$ 8.380,00	-21,28%
25/09/2019	\$ 8.413,36	0,6767	1,90%	\$ 8.522,23	\$ 8.350,00	-3,06%
26/09/2019	\$ 8.259,40	0,6740	1,85%	\$ 8.363,03	\$ 8.145,00	-3,97%
27/09/2019	\$ 8.004,46	0,6712	1,83%	\$ 8.103,39	\$ 8.004,50	-1,85%
29/09/2019	\$ 8.007,00	0,6658	1,83%	\$ 8.105,15	\$ 8.075,00	-0,57%
30/09/2019	\$ 8.151,35	0,6630	1,90%	\$ 8.254,68	\$ 8.335,00	1,48%
01/10/2019	\$ 8.361,55	0,6603	1,88%	\$ 8.465,99	\$ 8.325,00	-2,58%
02/10/2019	\$ 8.233,92	0,6575	1,85%	\$ 8.334,69	\$ 8.270,00	-1,20%
03/10/2019	\$ 8.146,77	0,6548	1,83%	\$ 8.244,98	\$ 8.160,00	-1,60%
04/10/2019	\$ 8.165,84	0,6521	1,82%	\$ 8.263,32	\$ 8.225,00	-0,72%
06/10/2019	\$ 7.908,54	0,6466	1,82%	\$ 8.002,15	\$ 7.835,00	-3,30%
07/10/2019	\$ 8.155,32	0,6438	1,82%	\$ 8.251,44	\$ 8.255,00	0,07%
08/10/2019	\$ 8.195,57	0,6411	1,82%	\$ 8.291,76	\$ 8.170,00	-2,33%
09/10/2019	\$ 8.382,93	0,6384	1,82%	\$ 8.480,89	\$ 8.645,00	3,04%
10/10/2019	\$ 8.507,56	0,6356	1,82%	\$ 8.606,55	\$ 8.595,00	-0,21%
11/10/2019	\$ 8.325,91	0,6329	1,82%	\$ 8.422,37	\$ 8.355,00	-1,28%
13/10/2019	\$ 8.419,34	0,6274	1,82%	\$ 8.516,03	\$ 8.282,50	-4,48%
14/10/2019	\$ 8.279,66	0,6247	1,82%	\$ 8.374,33	\$ 8.355,00	-0,37%
15/10/2019	\$ 8.295,55	0,6219	1,90%	\$ 8.394,16	\$ 8.170,00	-4,40%
16/10/2019	\$ 7.967,58	0,6192	1,90%	\$ 8.061,87	\$ 7.950,00	-2,28%
17/10/2019	\$ 8.051,21	0,6164	1,85%	\$ 8.143,55	\$ 8.060,00	-1,69%
18/10/2019	\$ 7.918,87	0,6137	1,85%	\$ 8.009,29	\$ 7.960,00	-1,02%
20/10/2019	\$ 7.981,49	0,6082	1,85%	\$ 8.071,81	\$ 8.297,50	4,58%
21/10/2019	\$ 8.246,37	0,6055	1,85%	\$ 8.339,26	\$ 8.205,00	-2,71%
22/10/2019	\$ 8.224,48	0,6027	1,85%	\$ 8.316,70	\$ 8.165,00	-3,09%
23/10/2019	\$ 7.477,75	0,6000	1,85%	\$ 7.561,22	\$ 7.475,00	-1,93%
24/10/2019	\$ 7.486,17	0,5973	1,85%	\$ 7.569,35	\$ 7.490,00	-1,78%
25/10/2019	\$ 7.678,49	0,5945	1,83%	\$ 7.762,49	\$ 7.678,50	-1,85%
27/10/2019	\$ 9.546,47	0,5890	1,83%	\$ 9.649,93	\$ 9.632,50	-0,31%
28/10/2019	\$ 9.380,89	0,5863	1,83%	\$ 9.482,08	\$ 9.530,00	0,87%
29/10/2019	\$ 9.353,61	0,5836	1,82%	\$ 9.453,48	\$ 9.315,00	-2,56%
30/10/2019	\$ 9.068,88	0,5808	1,82%	\$ 9.165,26	\$ 9.270,00	1,98%
31/10/2019	\$ 9.244,36	0,5781	1,58%	\$ 9.329,18	\$ 9.305,00	-0,45%
01/11/2019	\$ 9.142,27	0,5753	1,57%	\$ 9.225,23	\$ 9.235,00	0,19%
03/11/2019	\$ 9.175,90	0,5699	1,57%	\$ 9.258,36	\$ 9.247,50	-0,21%
04/11/2019	\$ 9.302,90	0,5671	1,56%	\$ 9.385,57	\$ 9.565,00	3,37%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
05/11/2019	\$ 9.362,71	0,5644	1,56%	\$ 9.445,51	\$ 9.420,00	-0,48%
06/11/2019	\$ 9.343,63	0,5616	1,55%	\$ 9.425,33	\$ 9.360,00	-1,25%
07/11/2019	\$ 9.203,27	0,5589	1,55%	\$ 9.283,34	\$ 9.220,00	-1,24%
08/11/2019	\$ 8.746,39	0,5562	1,55%	\$ 8.822,11	\$ 8.845,00	0,47%
10/11/2019	\$ 8.817,68	0,5507	1,55%	\$ 8.893,27	\$ 9.045,00	3,10%
11/11/2019	\$ 8.713,01	0,5479	1,55%	\$ 8.787,33	\$ 8.750,00	-0,78%
12/11/2019	\$ 8.649,64	0,5452	1,55%	\$ 8.723,05	\$ 8.835,00	2,36%
13/11/2019	\$ 8.730,07	0,5425	1,55%	\$ 8.803,78	\$ 8.785,00	-0,40%
14/11/2019	\$ 8.611,10	0,5397	1,55%	\$ 8.683,44	\$ 8.675,00	-0,18%
15/11/2019	\$ 8.457,65	0,5370	1,55%	\$ 8.528,34	\$ 8.505,00	-0,51%
17/11/2019	\$ 8.529,91	0,5315	1,55%	\$ 8.600,47	\$ 8.505,00	-2,12%
18/11/2019	\$ 8.416,44	0,5288	1,55%	\$ 8.485,70	\$ 8.205,00	-6,42%
19/11/2019	\$ 8.087,26	0,5260	1,55%	\$ 8.153,47	\$ 8.110,00	-1,02%
20/11/2019	\$ 8.110,43	0,5233	1,55%	\$ 8.176,48	\$ 8.110,00	-1,57%
21/11/2019	\$ 7.580,80	0,5205	1,55%	\$ 7.642,21	\$ 7.580,00	-1,58%
22/11/2019	\$ 7.102,16	0,5178	1,55%	\$ 7.159,39	\$ 7.330,00	4,58%
24/11/2019	\$ 7.054,91	0,5123	1,55%	\$ 7.111,16	\$ 6.910,00	-5,65%
25/11/2019	\$ 7.229,64	0,5096	1,55%	\$ 7.286,97	\$ 7.165,00	-3,34%
26/11/2019	\$ 7.078,74	0,5068	1,55%	\$ 7.134,57	\$ 7.115,00	-0,55%
27/11/2019	\$ 7.273,43	0,5041	1,55%	\$ 7.330,49	\$ 7.570,00	6,43%
28/11/2019	\$ 7.566,93	0,5014	1,55%	\$ 7.625,96	\$ 7.425,00	-5,37%
29/11/2019	\$ 7.775,69	0,4986	1,56%	\$ 7.836,41	\$ 7.775,70	-1,57%
01/12/2019	\$ 7.343,19	0,4932	1,56%	\$ 7.399,90	\$ 7.462,50	1,72%
02/12/2019	\$ 7.311,57	0,4904	1,56%	\$ 7.367,72	\$ 7.335,00	-0,91%
03/12/2019	\$ 7.342,08	0,4877	1,55%	\$ 7.397,79	\$ 7.340,00	-1,62%
04/12/2019	\$ 7.470,55	0,4849	1,55%	\$ 7.526,91	\$ 7.220,00	-8,65%
05/12/2019	\$ 7.353,70	0,4822	1,55%	\$ 7.408,87	\$ 7.420,00	0,31%
06/12/2019	\$ 7.393,28	0,4795	1,55%	\$ 7.448,43	\$ 7.460,00	0,33%
08/12/2019	\$ 7.554,05	0,4740	1,55%	\$ 7.609,75	\$ 7.550,00	-1,68%
09/12/2019	\$ 7.501,06	0,4712	1,55%	\$ 7.556,05	\$ 7.320,00	-6,79%
10/12/2019	\$ 7.265,59	0,4685	1,55%	\$ 7.318,54	\$ 7.215,00	-3,06%
11/12/2019	\$ 7.184,81	0,4658	1,55%	\$ 7.236,87	\$ 7.175,00	-1,86%
12/12/2019	\$ 7.161,08	0,4630	1,55%	\$ 7.212,66	\$ 7.265,00	1,57%
13/12/2019	\$ 7.240,55	0,4603	1,55%	\$ 7.292,39	\$ 7.265,00	-0,82%
15/12/2019	\$ 7.107,54	0,4548	1,55%	\$ 7.157,82	\$ 7.110,00	-1,48%
16/12/2019	\$ 7.088,11	0,4521	1,56%	\$ 7.138,27	\$ 6.860,00	-8,86%
17/12/2019	\$ 6.728,52	0,4493	1,55%	\$ 6.775,54	\$ 6.580,00	-6,56%
18/12/2019	\$ 6.793,81	0,4466	1,55%	\$ 6.841,00	\$ 7.135,00	9,49%
19/12/2019	\$ 7.138,21	0,4438	1,55%	\$ 7.187,49	\$ 7.165,00	-0,71%
20/12/2019	\$ 7.167,81	0,4411	1,55%	\$ 7.216,98	\$ 7.230,00	0,41%
22/12/2019	\$ 7.179,80	0,4356	1,55%	\$ 7.228,44	\$ 7.560,00	10,36%
23/12/2019	\$ 7.575,00	0,4329	1,55%	\$ 7.626,00	\$ 7.410,00	-6,68%
24/12/2019	\$ 7.273,38	0,4301	1,55%	\$ 7.322,03	\$ 7.235,00	-2,80%
25/12/2019	\$ 7.184,92	0,4274	1,55%	\$ 7.232,68	\$ 7.407,50	5,62%
26/12/2019	\$ 7.211,80	0,4247	1,55%	\$ 7.259,43	\$ 7.250,00	-0,31%
27/12/2019	\$ 7.203,82	0,4219	1,55%	\$ 7.251,09	\$ 7.203,80	-1,56%
29/12/2019	\$ 7.378,13	0,4164	1,55%	\$ 7.425,91	\$ 7.445,00	0,62%
30/12/2019	\$ 7.259,54	0,4137	1,55%	\$ 7.306,24	\$ 7.285,00	-0,71%
31/12/2019	\$ 7.186,10	0,4110	1,55%	\$ 7.232,02	\$ 7.210,00	-0,75%
01/01/2020	\$ 7.208,40	0,4082	1,55%	\$ 7.254,16	\$ 7.210,00	-1,51%
02/01/2020	\$ 7.114,23	0,4055	1,55%	\$ 7.159,08	\$ 6.940,00	-7,71%
03/01/2020	\$ 7.269,44	0,4027	1,55%	\$ 7.314,96	\$ 7.385,00	2,38%
05/01/2020	\$ 7.449,98	0,3973	1,55%	\$ 7.496,00	\$ 7.432,50	-2,15%
06/01/2020	\$ 7.528,20	0,3945	1,55%	\$ 7.574,38	\$ 7.615,00	1,36%
07/01/2020	\$ 7.809,80	0,3918	1,55%	\$ 7.857,37	\$ 8.280,00	13,45%

Data da Precificação (To)	Preço à vista em To (So)	Prazo para o vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço à vista esperado em T (Fo teórico)	Preço futuro do mercado (Fo mercado)	Prêmio de risco
08/01/2020	\$ 8.297,17	0,3890	1,55%	\$ 8.347,35	\$ 8.110,00	-7,46%
09/01/2020	\$ 7.900,62	0,3863	1,55%	\$ 7.948,07	\$ 7.885,00	-2,07%
10/01/2020	\$ 8.025,51	0,3836	1,54%	\$ 8.073,06	\$ 8.135,00	2,00%
12/01/2020	\$ 8.153,73	0,3781	1,54%	\$ 8.201,34	\$ 8.282,50	2,62%
13/01/2020	\$ 8.072,90	0,3753	1,54%	\$ 8.119,70	\$ 8.200,00	2,64%
14/01/2020	\$ 8.694,65	0,3726	1,54%	\$ 8.744,68	\$ 8.750,00	0,16%
15/01/2020	\$ 8.785,10	0,3699	1,54%	\$ 8.835,28	\$ 8.880,00	1,37%
16/01/2020	\$ 8.681,53	0,3671	1,54%	\$ 8.730,75	\$ 8.790,00	1,85%
17/01/2020	\$ 8.816,12	0,3644	1,55%	\$ 8.866,05	\$ 8.925,00	1,83%
19/01/2020	\$ 8.621,79	0,3589	1,55%	\$ 8.669,89	\$ 8.740,00	2,26%
20/01/2020	\$ 8.643,31	0,3562	1,55%	\$ 8.691,16	\$ 8.670,00	-0,69%
21/01/2020	\$ 8.653,12	0,3534	1,55%	\$ 8.700,65	\$ 8.750,00	1,61%
22/01/2020	\$ 8.632,39	0,3507	1,55%	\$ 8.679,44	\$ 8.680,00	0,02%
23/01/2020	\$ 8.340,67	0,3479	1,55%	\$ 8.385,77	\$ 8.370,00	-0,54%
24/01/2020	\$ 8.468,22	0,3452	1,55%	\$ 8.513,65	\$ 8.495,00	-0,64%
26/01/2020	\$ 8.438,47	0,3397	1,55%	\$ 8.483,02	\$ 8.665,00	6,28%
27/01/2020	\$ 8.757,77	0,3370	1,55%	\$ 8.803,63	\$ 8.995,00	6,41%
28/01/2020	\$ 9.003,80	0,3342	1,55%	\$ 9.050,57	\$ 9.060,00	0,31%
29/01/2020	\$ 9.289,81	0,3315	1,55%	\$ 9.337,67	\$ 9.390,00	1,69%
30/01/2020	\$ 9.353,27	0,3288	1,60%	\$ 9.402,60	\$ 9.555,00	4,92%
31/01/2020	\$ 9.277,63	0,3260	1,59%	\$ 9.325,85	\$ 9.277,60	-1,60%
02/02/2020	\$ 9.452,23	0,3205	1,59%	\$ 9.500,53	\$ 9.452,50	-1,59%
03/02/2020	\$ 9.298,60	0,3178	1,59%	\$ 9.345,71	\$ 9.410,00	2,17%
04/02/2020	\$ 9.180,22	0,3151	1,59%	\$ 9.226,32	\$ 9.255,00	0,99%
05/02/2020	\$ 9.453,54	0,3123	1,59%	\$ 9.500,60	\$ 9.830,00	10,97%
06/02/2020	\$ 9.795,53	0,3096	1,59%	\$ 9.843,87	\$ 9.895,00	1,68%
07/02/2020	\$ 9.791,52	0,3068	1,58%	\$ 9.839,11	\$ 9.845,00	0,20%
09/02/2020	\$ 10.080,92	0,3014	1,58%	\$ 10.129,04	\$ 10.312,50	5,98%
10/02/2020	\$ 9.899,41	0,2986	1,58%	\$ 9.946,23	\$ 9.935,00	-0,38%
11/02/2020	\$ 10.028,21	0,2959	1,58%	\$ 10.075,20	\$ 10.405,00	10,94%
12/02/2020	\$ 10.335,98	0,2932	1,58%	\$ 10.383,97	\$ 10.525,00	4,62%
13/02/2020	\$ 10.273,45	0,2904	1,58%	\$ 10.320,70	\$ 10.305,00	-0,53%
14/02/2020	\$ 10.261,62	0,2877	1,58%	\$ 10.308,37	\$ 10.495,00	6,27%
16/02/2020	\$ 9.884,43	0,2822	1,58%	\$ 9.928,60	\$ 9.995,00	2,37%
17/02/2020	\$ 9.607,78	0,2795	1,58%	\$ 9.650,30	\$ 9.757,50	3,97%
18/02/2020	\$ 9.818,76	0,2767	1,59%	\$ 9.862,06	\$ 10.250,00	14,00%
19/02/2020	\$ 10.140,87	0,2740	1,59%	\$ 10.185,14	\$ 10.225,00	1,43%
20/02/2020	\$ 9.588,63	0,2712	1,59%	\$ 9.630,07	\$ 9.615,00	-0,58%
21/02/2020	\$ 9.717,55	0,2685	1,58%	\$ 9.758,86	\$ 9.740,00	-0,72%
23/02/2020	\$ 9.901,78	0,2630	1,58%	\$ 9.943,01	\$ 10.180,00	8,99%
24/02/2020	\$ 9.732,96	0,2603	1,58%	\$ 9.773,07	\$ 9.600,00	-6,89%
25/02/2020	\$ 9.400,17	0,2575	1,58%	\$ 9.438,50	\$ 9.320,00	-4,93%
26/02/2020	\$ 9.005,72	0,2548	1,58%	\$ 9.042,05	\$ 8.780,00	-11,59%
27/02/2020	\$ 8.869,00	0,2521	1,58%	\$ 8.904,39	\$ 8.890,00	-0,64%
28/02/2020	\$ 8.662,99	0,2493	1,58%	\$ 8.697,18	\$ 8.663,00	-1,59%
01/03/2020	\$ 8.574,65	0,2438	1,58%	\$ 8.607,75	\$ 8.590,00	-0,85%
02/03/2020	\$ 8.813,93	0,2411	1,59%	\$ 8.847,78	\$ 8.975,00	5,94%
03/03/2020	\$ 8.759,99	0,2384	1,59%	\$ 8.793,25	\$ 8.770,00	-1,12%
04/03/2020	\$ 8.720,90	0,2356	1,09%	\$ 8.743,33	\$ 8.760,00	0,81%
05/03/2020	\$ 9.058,55	0,2329	1,09%	\$ 9.081,57	\$ 9.195,00	5,34%
06/03/2020	\$ 9.072,66	0,2301	1,09%	\$ 9.095,45	\$ 9.165,00	3,32%
08/03/2020	\$ 8.467,74	0,2247	1,09%	\$ 8.488,50	\$ 8.042,50	-24,08%
09/03/2020	\$ 7.698,69	0,2219	1,09%	\$ 7.717,33	\$ 7.850,00	7,70%
10/03/2020	\$ 7.935,86	0,2192	1,09%	\$ 7.954,84	\$ 7.995,00	2,30%
11/03/2020	\$ 7.792,97	0,2164	1,09%	\$ 7.811,38	\$ 7.855,00	2,58%

Data da Precificação ( $T_0$ )	Preço à vista em $T_0$ ( $S_0$ )	Prazo para o vencimento, em anos ( $T$ )	Taxa livre de risco, ao ano ( $r$ )	Preço à vista esperado em $T$ ( $F_0$ teórico)	Preço futuro do mercado ( $F_0$ mercado)	Prêmio de risco
12/03/2020	\$ 6.087,20	0,2137	1,10%	\$ 6.101,53	\$ 6.010,00	-7,09%
13/03/2020	\$ 5.227,33	0,2110	1,10%	\$ 5.239,47	\$ 5.330,00	8,14%
15/03/2020	\$ 5.316,59	0,2055	1,10%	\$ 5.328,62	\$ 5.330,00	0,13%
16/03/2020	\$ 5.062,68	0,2027	0,25%	\$ 5.065,25	\$ 4.930,00	-13,36%
17/03/2020	\$ 5.321,25	0,2000	0,25%	\$ 5.323,91	\$ 5.380,00	5,24%
18/03/2020	\$ 5.289,96	0,1973	0,25%	\$ 5.292,57	\$ 5.340,00	4,53%
19/03/2020	\$ 5.903,46	0,1945	0,20%	\$ 5.905,76	\$ 6.240,00	28,31%
20/03/2020	\$ 6.605,32	0,1918	0,15%	\$ 6.607,22	\$ 6.210,00	-32,34%
22/03/2020	\$ 6.041,66	0,1863	0,15%	\$ 6.043,35	\$ 5.860,00	-16,54%
23/03/2020	\$ 6.225,06	0,1836	0,15%	\$ 6.226,77	\$ 6.300,00	6,37%
24/03/2020	\$ 6.580,12	0,1808	0,12%	\$ 6.581,55	\$ 6.725,00	11,93%
25/03/2020	\$ 6.651,13	0,1781	0,10%	\$ 6.652,31	\$ 6.630,00	-1,89%
26/03/2020	\$ 6.609,46	0,1753	0,10%	\$ 6.610,62	\$ 6.675,00	5,53%
27/03/2020	\$ 6.648,36	0,1726	0,10%	\$ 6.649,51	\$ 6.648,40	-0,10%
29/03/2020	\$ 6.134,32	0,1671	0,10%	\$ 6.135,35	\$ 5.862,50	-27,22%
30/03/2020	\$ 6.329,61	0,1644	0,09%	\$ 6.330,55	\$ 6.380,00	4,73%
31/03/2020	\$ 6.467,53	0,1616	0,08%	\$ 6.468,37	\$ 6.475,00	0,63%
01/04/2020	\$ 6.245,58	0,1589	0,06%	\$ 6.246,18	\$ 6.210,00	-3,66%
02/04/2020	\$ 6.709,33	0,1562	0,05%	\$ 6.709,85	\$ 6.865,00	14,64%
03/04/2020	\$ 6.810,49	0,1534	0,05%	\$ 6.811,01	\$ 6.800,00	-1,05%
05/04/2020	\$ 6.786,74	0,1479	0,05%	\$ 6.787,24	\$ 6.800,00	1,27%
06/04/2020	\$ 7.102,71	0,1452	0,05%	\$ 7.103,23	\$ 7.330,00	21,64%
07/04/2020	\$ 7.313,17	0,1425	0,05%	\$ 7.313,69	\$ 7.330,00	1,56%
08/04/2020	\$ 7.254,30	0,1397	0,05%	\$ 7.254,81	\$ 7.335,00	7,87%
09/04/2020	\$ 7.326,22	0,1370	0,05%	\$ 7.326,72	\$ 7.290,00	-3,67%
12/04/2020	\$ 6.970,32	0,1288	0,05%	\$ 6.970,77	\$ 6.907,50	-7,08%
13/04/2020	\$ 6.719,61	0,1260	0,05%	\$ 6.720,03	\$ 6.810,00	10,55%
14/04/2020	\$ 6.926,14	0,1233	0,05%	\$ 6.926,57	\$ 6.950,00	2,74%
15/04/2020	\$ 6.740,34	0,1205	0,05%	\$ 6.740,75	\$ 6.740,00	-0,09%
16/04/2020	\$ 7.010,86	0,1178	0,05%	\$ 7.011,27	\$ 7.105,00	11,27%
17/04/2020	\$ 7.047,70	0,1151	0,05%	\$ 7.048,11	\$ 7.080,00	3,92%
19/04/2020	\$ 7.092,78	0,1096	0,05%	\$ 7.093,17	\$ 7.220,00	16,17%
20/04/2020	\$ 7.054,23	0,1068	0,05%	\$ 7.054,61	\$ 6.795,00	-35,09%

Fontes: CME Group, Federal Reserve Bank of New York e dados do estudo

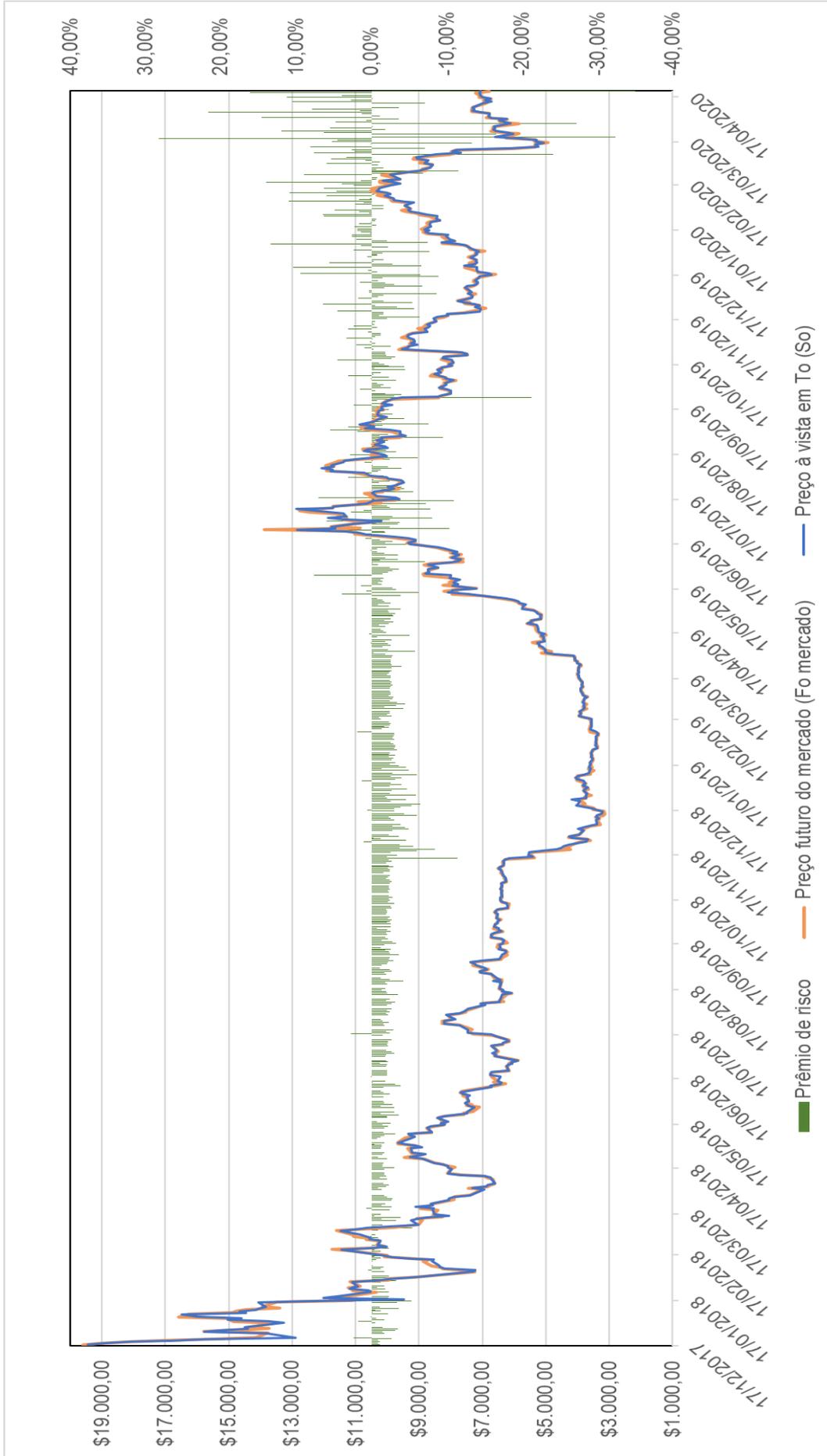
Pode-se observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** que a precificação do valor esperado do preço à vista do bitcoin na data de vencimento do contrato  $T$  ( $F_0$  teórico), utilizando a *EFFR* como taxa livre de risco, difere dos preços de contratos futuros praticados pelo mercado ( $F_0$  mercado) para todos os casos analisados, o que sugere a existência de prêmio, positivo ou negativo, de acordo com as expectativas do mercado sobre os preços futuros. Quando  $F_0$  teórico é maior que  $F_0$  mercado, o prêmio é negativo, e o resultado segue a linha da teoria *backwardation* normal. Quando  $F_0$  mercado é maior que  $F_0$  teórico, o prêmio é positivo, e o resultado segue a linha da teoria *contango*. A ausência de casos onde o prêmio é zero, ou seja,  $F_0$  teórico é igual a  $F_0$  mercado, conforme versa a teoria da hipótese da expectativa, indica que não houve equilíbrio de mercado, sugerindo a existência incertezas, portanto, não neutro ao risco.

O Gráfico 4.5 compara os preços *spot* e futuros de bitcoin com os prêmios de risco exigidos pelo mercado, no período entre 17 de dezembro de 2017 a 20 de fevereiro de 2020. Ressalta-se que a negociação de futuros de bitcoin na CME Globex iniciou em 17 de dezembro de 2017, portanto, os prêmios de risco, calculados de acordo com a metodologia descrita no início dessa seção, foram plotados a partir dessa data.

A teoria da hipótese de expectativas se baseia na noção de um mundo neutro ao risco, ou seja, aplicando-se uma taxa livre de risco, isto é, a correção do preço de certo ativo que impedirá ganhos de arbitragem, o preço futuro do criptoativo no vencimento do contrato futuro ( $F_0$  *mercado*) deve ser igual ao valor esperado do preço à vista no vencimento do contrato futuro ( $E_{T_0}(S_T)$ , ou  $F_0$  *teórico*), ignorando qualquer prêmio de risco embutido no preço futuro quando o preço à vista final é desconhecido. No entanto, observa-se nos resultados do estudo, descritos na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e no Gráfico 4.5, que há cobrança prêmio pelo mercado, positivo ou negativo, indo ao encontro das teorias *backwardation* normal e *contango*, e da hipótese da proteção líquida.

Dada a atual expansão do mercado, no qual um número crescente de *traders* está negociando criptoativos com o propósito de investimento, além de estudos que identificam características que assemelham criptoativos às *commodities*, a cobrança de prêmio pelo mercado pode estar relacionada com os riscos inerentes ao mercado de *commodities*, como liquidez, contraparte, perspectivas futuras positivas ou negativas, dentre outros, além dos riscos inerentes à um ativo digital recente, como a possibilidade de perdas decorrentes de falhas de segurança e fraudes, riscos legais e regulatórios. Não obstante, é prudente que sejam realizadas novas pesquisas, a fim de identificar, com maior efetividade, os motivos pelos quais o mercado cobra prêmio.

**Gráfico 4.5 Comparativo entre preços spot e futuros de bitcoin com vencimento em 29 de maio de 2020 versus prêmio de risco**



Fontes: CME Group e dados do estudo

#### 4.2.2.

### Precificação de Opções de Bitcoin

Uma premissa para a realização da precificação de opção através das fórmulas de Black-Scholes-Merton, é de que o retorno do criptoativo está distribuído lognormalmente, ou seja, que o logaritmo natural de um mais o retorno é normalmente distribuído, com média  $\mu \Delta T$  e variância  $\sigma^2 \Delta T$  (BENNINGA, 2014). Para testar se estatisticamente a série histórica de retornos de bitcoin é lognormalmente distribuída, pode-se aplicar um teste de normalidade sobre a 1ª diferença dos logaritmos naturais da série CME Bitcoin Reference Rate, a fim de verificar se a hipótese nula de normalidade dos retornos é ou não rejeitada.

Para se obter a 1ª diferença dos logaritmos naturais da série histórica CME Bitcoin Reference Rate, pode-se aplicar a relação

$$R_t = \ln\left(\frac{S_{T-1}}{S_T}\right) \quad (4.1)$$

onde  $R_T$  é o retorno do ativo no tempo  $T$ ,  $S_T$  é o preço do ativo no tempo  $T$ , e  $S_{T-1}$  é o preço do ativo no tempo  $T-1$ .

As estatísticas descritivas, os resultados dos testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, o histograma e o gráfico Q-Q normal da 1ª diferença da série de logaritmos naturais (série de retornos) CME Bitcoin Reference Rate, no período entre 15 de novembro de 2016 e 20 de abril de 2020 (1172 observações), foram obtidos através da utilização do aplicativo IBM SPSS Statistics

**Tabela 4.6 Estatísticas descritivas da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate**

		Estatística	Erro Padrão
1ª Diferença LN CME	Média	,1971%	,12639%
Bitcoin Reference Rate (BRR)	90% Intervalo de		
	Confiança para		
	5% da média aparada		
	Limite inferior	-,0110%	
	Limite superior	,4051%	
	Mediana	,1971%	
	Variância	18,721	
	Desvio Padrão	4,32680%	
	Mínimo	-24,93%	
	Máximo	26,00%	
	Amplitude	50,94%	
	Amplitude interquartil	3,76%	
	Assimetria	-,285	,071
Curtose	5,535	,143	

Fonte: Dados do estudo

23. Os resultados se encontram nas tabelas **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Tabela 4.7 e nos gráficos **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Gráfico 4.7.

**Tabela 4.7 Testes de normalidade sobre a 1ª diferença de logaritmos naturais da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate**

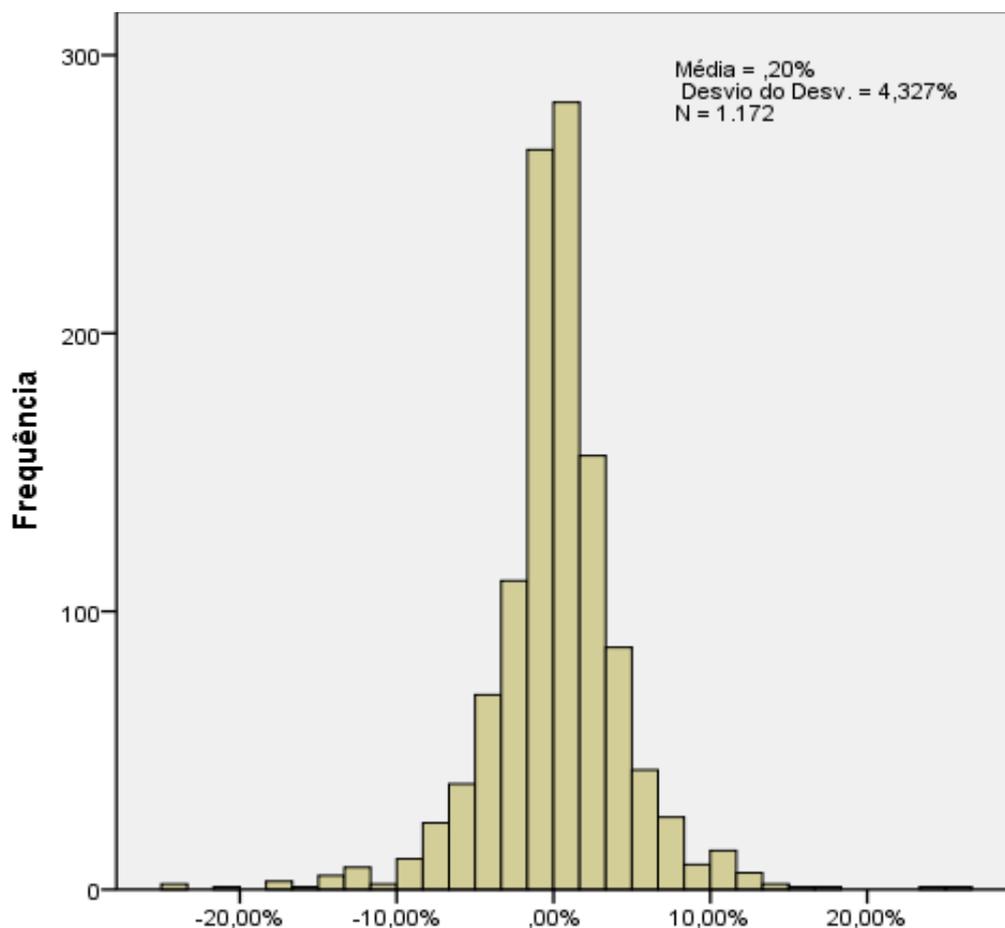
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
1ª Diferença LN CME Bitcoin Reference Rate (BRR)	,103	1172	,000	,922	1172	,000

a. Correlação de Significância de Lilliefors

Fonte: Dados do estudo

Pode-se verificar que ambos os testes rejeitam a hipótese nula de normalidade dos retornos. Além disso, verifica-se que, apesar do formato do histograma

**Gráfico 4.6 Histograma da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate**

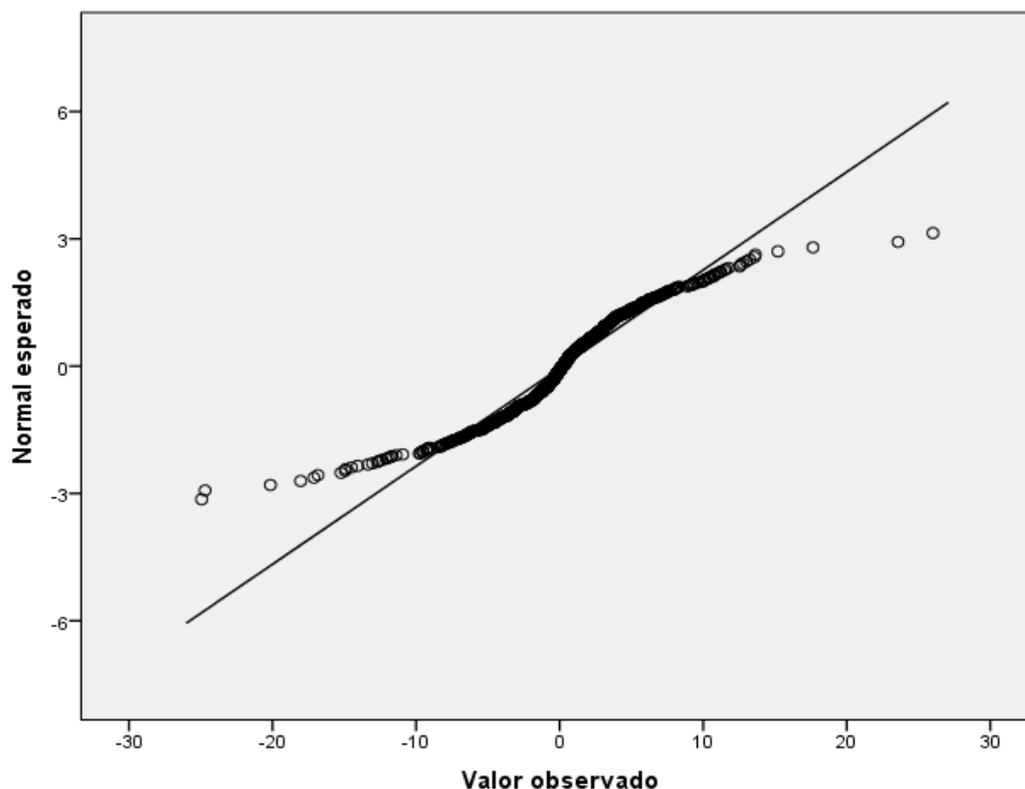


Fonte: Dados do estudo

da série de retornos ser semelhante ao de uma normal, a série é leptocúrtica (curtose de 5,535, acima de zero) e possui assimetria de -0,285, próxima de zero. Indo mais além, o Gráfico 4.7 Q-Q normal sugere presença de caudas pesadas.

Uma explicação para a não normalidade dos retornos foi proposta por Press (1967, apud Fortune, 1996), que defende que os preços de ativos são afe-

**Gráfico 4.7 Q-Q normal da série de retornos diários CME Bitcoin Reference Rate**



Fonte: Dados do estudo

tados por uma composição de eventos aleatórios (saltos) que os afastam momentaneamente da normalidade, e caso esses eventos não existissem, os logaritmos das mudanças nos preços dos ativos formariam uma distribuição normal. Assim, conforme o autor, se assume que as mudanças no logaritmo de preços dos ativos segue um processo de Poisson composto pela mistura de diferentes distribuições normais, cada uma com sua variância dependente da quantidade de eventos (apud FORTUNE, 1996).

O estudo da distribuição de frequências de preços de ativos de Fama (1965, apud FORTUNE, 1996) demonstrou que a distribuição dos logaritmos dos retornos dos preços de ações possui caudas pesadas, ou seja, a frequência relativa a variações muito altas é maior que a observada na distribuição normal. Além disso, essa distribuição é leptocúrtica (curtose acima de zero) e possui pequena

assimetria (muito próxima a zero). Hull (2016) explica que *traders* utilizam sorrisos de volatilidade – a relação entre a volatilidade implícita de uma opção e seu preço de exercício – para levar em conta a não lognormalidade. Para fins de simplificação, e tendo em vista o exposto, esse estudo relaxou a premissa do modelo de Black-Scholes-Merton que os retornos são lognormais.

O próximo passo do estudo é realizar a comparação das volatilidades histórica e implícita utilizadas na precificação de opções de bitcoin. Com base na série de retornos diários, pode-se calcular seu retorno médio diário e sua volatilidade histórica diária utilizando-se respectivamente as fórmulas MÉDIA e DESVPAD.A (desvio-padrão da amostra) do Microsoft Excel. Por fim, para anualizar o retorno

**Tabela 4.8 Retornos e Desvios-padrão da série CME Bitcoin Reference Rate**

	Toda a amostra	Últimos 365 dias	Últimos 180 dias	Últimos 90 dias	Últimos 60 dias	Últimos 45 dias	Últimos 30 dias	Últimos 15 dias
Observações (diária)	1172	365	180	90	60	45	30	15
Retorno médio diário	0,20%	0,28%	-0,02%	0,21%	0,52%	0,66%	0,43%	0,36%
$\sigma$ diária	4,33%	3,36%	2,98%	2,54%	2,34%	2,42%	2,01%	2,13%
Retorno médio anualizado	71,93%	101,58%	-5,51%	77,52%	191,44%	240,15%	158,17%	132,45%
$\sigma$ anualizada	82,66%	64,16%	56,91%	48,56%	44,61%	46,27%	38,35%	40,64%

Fontes: CME Group e dados do estudo

médio e a volatilidade histórica, multiplicou-se os resultados por  $\sqrt{365}$ , uma vez que o bitcoin é negociado sem interrupções, 24 horas/dia, 7 dias/semana. As estatísticas de retornos médios e desvios-padrão da série histórica diária CME Bitcoin Reference Rate no recorte temporal compreendido entre 15 de novembro de 2016 e 20 de abril de 2020 se encontram na Tabela 4.8.

A

s

f

ó

r

m

u

l

a

s

d

e

a

p

e hora da negociação e do vencimento das opções (calculadas através das *timestamps*<sup>21</sup> das negociações e dos vencimentos), e de volatilidades históricas de períodos distintos, estão descritos na Tabela 4.9.

Para estimação das volatilidades implícitas de *calls* de bitcoin, bastou substituir

De forma a possibilitar a comparação entre volatilidades históricas e implícitas ao longo do tempo, foram realizados cálculos de volatilidades implícitas de *calls* de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos através da metodologia acima, tomando por base negociações realizadas na plataforma Deribit. O Gráfico 4.8 compara os resultados dos cálculos de 1732 *calls* de bitcoin negociadas entre 26 de dezembro de 2019 e 26 de fevereiro de 2020, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 28 de fevereiro de 2020. O Gráfico 4.9 compara os resultados dos cálculos de 7127 *calls* de bitcoin negociadas entre 21 de agosto de 2019 e 25 de março de 2020, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 27 de março de 2020. Já o Gráfico 4.10 compara os resultados dos cálculos de 1842 *calls* de bitcoin negociadas entre 24 de outubro de 2019 e 20 de abril de 2020, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 26 de junho de 2020. Por fim, o Gráfico 4.11 compara os resultados dos cálculos de 587 *calls* de bitcoin negociadas entre 28 de dezembro de 2019 e 20 de abril de 2020, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 25 de setembro de 2020. Para complemento da análise, as estatísticas descritivas das séries de volatilidades implícitas das quatro *calls* acima foram obtidas através do aplicativo IBM SPSS Statistics, e estão descritas na Tabela 4.10

por

o

---

<sup>21</sup> *Timestamp* é um momento único no tempo representado por um número correspondente ao ponto temporal específico da ocorrência menos o ponto temporal do instante zero, também chamado de Unix Epoch, cujo valor é corresponde a zero hora de 1º de janeiro de 1970 UTC. Nas negociações na plataforma Deribit, é medido em milissegundos.

ó

r

m

u

**Tabela 4.9 Exemplos de precificações teóricas de calls de bitcoin, de strike USD 10.000,00, com base na volatilidade histórica**

Data do negócio	Data de Vencimento da call	Prazo para vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço spot (s)	Prêmio da call com $\sigma$ histórica - últimos 15 dias	40,64%	Prêmio da call com $\sigma$ histórica - últimos 30 dias	38,35%	46,27%	Prêmio da call com $\sigma$ histórica - últimos 45 dias	44,61%	48,56%	Prêmio da call com $\sigma$ histórica - últimos 180 dias	56,91%	64,16%	Prêmio da call com $\sigma$ histórica - toda a amostra	82,66%
21/08/2019	27/03/2020	0,59948601	2,12%	\$ 9.999,86	\$ 1.306,40	\$ 1.236,77	\$ 1.476,51	\$ 1.426,49	\$ 1.545,79	\$ 1.796,37	\$ 2.012,98	\$ 2.558,12					
11/10/2019	27/03/2020	0,46005757	1,82%	\$ 8.325,91	\$ 397,39	\$ 352,16	\$ 512,06	\$ 477,80	\$ 560,15	\$ 739,11	\$ 898,61	\$ 1.312,80					
25/10/2019	26/06/2020	0,67034863	1,83%	\$ 7.678,49	\$ 372,56	\$ 324,95	\$ 495,04	\$ 458,22	\$ 546,98	\$ 742,31	\$ 918,15	\$ 1.378,18					
21/11/2019	27/03/2020	0,34668737	1,55%	\$ 7.580,80	\$ 132,39	\$ 108,86	\$ 197,08	\$ 177,08	\$ 225,98	\$ 340,42	\$ 449,30	\$ 751,03					
28/11/2019	26/06/2020	0,57715275	1,55%	\$ 7.566,93	\$ 279,56	\$ 239,78	\$ 383,73	\$ 352,18	\$ 428,52	\$ 599,32	\$ 755,38	\$ 1.170,03					
18/12/2019	27/03/2020	0,27339400	1,55%	\$ 6.793,81	\$ 24,90	\$ 17,83	\$ 48,16	\$ 40,44	\$ 60,07	\$ 114,15	\$ 173,34	\$ 362,05					
30/12/2019	28/02/2020	0,16433901	1,55%	\$ 7.259,54	\$ 14,35	\$ 9,95	\$ 29,52	\$ 24,40	\$ 37,55	\$ 75,30	\$ 118,11	\$ 259,71					
05/01/2020	25/09/2020	0,72397472	1,55%	\$ 7.449,98	\$ 342,07	\$ 295,81	\$ 462,11	\$ 425,89	\$ 513,36	\$ 707,32	\$ 883,06	\$ 1.345,44					
07/01/2020	28/02/2020	0,14147655	1,55%	\$ 7.809,80	\$ 31,09	\$ 23,31	\$ 55,21	\$ 47,39	\$ 67,00	\$ 118,15	\$ 171,60	\$ 334,58					
14/01/2020	26/06/2020	0,44840477	1,54%	\$ 8.694,65	\$ 506,80	\$ 456,99	\$ 631,22	\$ 594,28	\$ 682,79	\$ 872,60	\$ 1.039,79	\$ 1.469,08					
21/01/2020	25/09/2020	0,67853281	1,55%	\$ 8.653,12	\$ 708,36	\$ 645,04	\$ 865,23	\$ 818,82	\$ 929,83	\$ 1.165,93	\$ 1.372,21	\$ 1.896,28					
03/02/2020	27/03/2020	0,14475108	1,59%	\$ 9.298,60	\$ 315,14	\$ 285,13	\$ 389,96	\$ 367,76	\$ 420,95	\$ 534,98	\$ 635,54	\$ 894,87					
05/02/2020	25/09/2020	0,63730001	1,59%	\$ 9.453,54	\$ 1.036,63	\$ 967,47	\$ 1.205,84	\$ 1.156,05	\$ 1.274,84	\$ 1.524,66	\$ 1.740,80	\$ 2.285,04					
07/02/2020	28/02/2020	0,05748317	1,58%	\$ 9.791,52	\$ 292,85	\$ 271,63	\$ 345,00	\$ 329,62	\$ 366,36	\$ 444,11	\$ 511,92	\$ 685,11					
09/02/2020	28/02/2020	0,05109646	1,58%	\$ 10.080,92	\$ 413,92	\$ 393,25	\$ 464,56	\$ 449,65	\$ 485,25	\$ 560,40	\$ 625,78	\$ 792,41					
13/02/2020	26/06/2020	0,36703335	1,58%	\$ 10.273,45	\$ 1.164,74	\$ 1.109,54	\$ 1.299,90	\$ 1.260,11	\$ 1.355,07	\$ 1.555,15	\$ 1.728,75	\$ 2.168,37					
18/02/2020	28/02/2020	0,02765271	1,59%	\$ 9.818,76	\$ 187,91	\$ 173,36	\$ 223,74	\$ 213,16	\$ 238,44	\$ 292,07	\$ 338,96	\$ 459,02					
19/02/2020	28/02/2020	0,02308346	1,59%	\$ 10.140,87	\$ 326,93	\$ 313,32	\$ 360,44	\$ 350,55	\$ 374,17	\$ 424,22	\$ 467,91	\$ 579,70					
22/02/2020	25/09/2020	0,59106444	1,58%	\$ 9.644,97	\$ 1.087,07	\$ 1.019,25	\$ 1.252,85	\$ 1.204,09	\$ 1.320,39	\$ 1.564,82	\$ 1.776,21	\$ 2.308,55					
05/03/2020	25/09/2020	0,55952372	1,09%	\$ 9.058,55	\$ 759,88	\$ 698,64	\$ 910,77	\$ 866,24	\$ 972,64	\$ 1.197,89	\$ 1.393,98	\$ 1.891,13					
07/03/2020	27/03/2020	0,05377008	1,09%	\$ 9.127,16	\$ 80,39	\$ 67,98	\$ 113,44	\$ 103,36	\$ 127,85	\$ 183,62	\$ 235,48	\$ 376,49					
08/03/2020	26/06/2020	0,29992869	1,09%	\$ 8.467,74	\$ 275,42	\$ 240,92	\$ 364,00	\$ 337,39	\$ 401,54	\$ 542,68	\$ 669,92	\$ 1.004,66					
02/04/2020	25/09/2020	0,48131332	0,05%	\$ 6.709,33	\$ 81,43	\$ 63,55	\$ 133,89	\$ 117,24	\$ 158,52	\$ 260,91	\$ 363,28	\$ 660,80					
17/04/2020	26/06/2020	0,19064264	0,05%	\$ 7.047,70	\$ 13,62	\$ 9,34	\$ 28,60	\$ 23,51	\$ 36,62	\$ 74,77	\$ 118,52	\$ 264,91					

Fontes: Deribit.com, Kaiko e dados do estudo

**Tabela 4.11 Exemplos de cálculos de volatilidades implícitas de calls de bitcoin com strike USD 10.000,00**

Data do negócio	Data de Vencimento da call	Prazo para vencimento, em anos (T)	Taxa livre de risco, ao ano (r)	Preço spot (s)	Prêmio da call (c)	$\sigma$ implícita
21/08/2019	27/03/2020	0,59948601	2,12%	\$ 9.999,86	\$ 2.799,96	91,00%
11/10/2019	27/03/2020	0,46005757	1,82%	\$ 8.325,91	\$ 1.402,92	86,67%
25/10/2019	26/06/2020	0,67034863	1,83%	\$ 7.678,49	\$ 1.313,02	80,06%
21/11/2019	27/03/2020	0,34668737	1,55%	\$ 7.580,80	\$ 636,79	75,85%
28/11/2019	26/06/2020	0,57715275	1,55%	\$ 7.566,93	\$ 1.074,50	78,46%
18/12/2019	27/03/2020	0,27339400	1,55%	\$ 6.793,81	\$ 247,97	72,04%
30/12/2019	28/02/2020	0,16433901	1,55%	\$ 7.259,54	\$ 148,82	68,68%
05/01/2020	25/09/2020	0,72397472	1,55%	\$ 7.449,98	\$ 1.288,85	80,42%
07/01/2020	28/02/2020	0,14147655	1,55%	\$ 7.809,80	\$ 234,29	71,73%
14/01/2020	26/06/2020	0,44840477	1,54%	\$ 8.694,65	\$ 1.382,45	78,93%
21/01/2020	25/09/2020	0,67853281	1,55%	\$ 8.653,12	\$ 1.765,24	78,02%
03/02/2020	27/03/2020	0,14475108	1,59%	\$ 9.298,60	\$ 697,40	68,59%
05/02/2020	25/09/2020	0,63730001	1,59%	\$ 9.453,54	\$ 2.207,40	80,00%
07/02/2020	28/02/2020	0,05748317	1,58%	\$ 9.791,52	\$ 484,68	61,25%
09/02/2020	28/02/2020	0,05109646	1,58%	\$ 10.080,92	\$ 630,06	64,64%
13/02/2020	26/06/2020	0,36703335	1,58%	\$ 10.273,45	\$ 2.080,37	78,95%
18/02/2020	28/02/2020	0,02765271	1,59%	\$ 9.818,76	\$ 294,56	57,29%
19/02/2020	28/02/2020	0,02308346	1,59%	\$ 10.140,87	\$ 223,10	22,79%
22/02/2020	25/09/2020	0,59106444	1,58%	\$ 9.644,97	\$ 2.039,91	73,28%
05/03/2020	25/09/2020	0,55952372	1,09%	\$ 9.058,55	\$ 1.621,48	72,60%
07/03/2020	27/03/2020	0,05377008	1,09%	\$ 9.127,16	\$ 146,03	51,36%
08/03/2020	26/06/2020	0,29992869	1,09%	\$ 8.467,74	\$ 753,63	68,85%
02/04/2020	25/09/2020	0,48131332	0,05%	\$ 6.709,33	\$ 885,63	95,49%
17/04/2020	26/06/2020	0,19064264	0,05%	\$ 7.047,70	\$ 285,43	84,92%

Fontes: Deribit.com, Kaiko e dados do estudo

**Tabela 4.10 Estatísticas descritivas das séries de volatilidades implícitas de calls de bitcoin em vencimentos variados**

	N	Amplitude	Mínimo	Máximo	Média		Desvio Padrão	Variância
	Estatística	Estatística	Estatística	Estatística	Estatística	Erro Padrão	Estatística	Estatística
V.I. 28/02/2020	1732	83,04%	16,23%	99,26%	60,8309%	0,30558%	12,71738%	161,732
V.I. 27/03/2020	7127	163,31%	36,69%	200,00%	78,3980%	0,35923%	30,32652%	919,698
V.I. 26/06/2020	1842	86,51%	57,73%	144,24%	83,5608%	0,34525%	14,81770%	219,564
V.I. 25/09/2020	587	52,09%	66,37%	118,46%	87,3186%	0,55959%	13,55791%	183,817

Fontes: Deribit.com, Kaiko e dados do estudo

Os gráficos Gráfico 4.8, Gráfico 4.9, Gráfico 4.10 e Gráfico 4.11 facilitam a visualização do comportamento da volatilidade implícita no tempo. Em conjunto com as estatísticas descritivas da Tabela 4.10, foi possível chegar a algumas conclusões. Primeiramente, nota-se que houve uma elevação acentuada da volatilidade implícita em meados de março de 2020, provavelmente relacionado a choque no mercado financeiro decorrente de incertezas quanto a guerra de preços do petróleo entre Rússia e OPEC (*Organization of the Petroleum Exporting Countries*,

Organização dos Países Produtores de Petróleo), pessimismo acerca da declaração de pandemia do coronavírus SARS-CoV-2 pela WHO (*World Health Organization*, Organização Mundial de Saúde), movimentação de quantidade considerável de bitcoins pela empresa de investimentos em criptoativos chinesa Plus Token, acusada de ser uma pirâmide financeira, e possibilidade de manipulação do mercado de criptoativos por “*whales*”, dado o cenário de risco aumentado, conforme comentado na seção 4.1.

Nota-se que as amplitudes das *calls* com vencimentos mais distantes, que foram afetadas pelo choque de meados de março de 2020 (as *calls* com vencimento em 28 de fevereiro de 2020 não foram afetadas por esse choque), possuem amplitudes menores, indicando que quanto mais perto do vencimento, maior é a tendência de aumento da volatilidade, possivelmente em decorrência do aumento da quantidade de negócios realizados (oferta e demanda), e da diminuição do prazo até o vencimento, que tende a zero até a data de vencimento, o que diminui o valor do desvio-padrão nas fórmulas de Black-Scholes-Merton.

Quanto às *calls* com vencimentos em 28 de fevereiro de 2020, sua volatilidade implícita média no período foi de 60,83%, localizando-se entre as volatilidades históricas de 180 dias (56,91%) e 365 dias (64,16%). Observa-se que, durante boa parte do tempo, a volatilidade implícita oscilou entre a volatilidade de 15 dias (40,64%) e de 180 dias (56,91%). No entanto, por volta de 11 de fevereiro de 2020, 17 dias antes do vencimento, a volatilidade implícita oscilou consideravelmente, impossibilitando qualquer previsão com utilização de quaisquer volatilidades históricas.

Acerca das *calls* com vencimentos em 27 de março de 2020, sua volatilidade implícita média no período foi de 78,40%, localizando-se entre as volatilidades históricas de 365 dias (64,16%) e de toda a amostra (82,66%). Durante boa parte do tempo, a volatilidade implícita oscilou entre essas volatilidades históricas. Não obstante, em decorrência do choque de mercado, a volatilidade histórica aumentou consideravelmente em meados de março de 2020, chegando ao pico de 200,00%. Essa série de opções foi a mais afetada pelo choque que as séries mais longas, com vencimentos em 26 de junho de 2020 e 25 de setembro de 2020, tendo em vista possuir vencimento mais próximo à data do acontecimento.

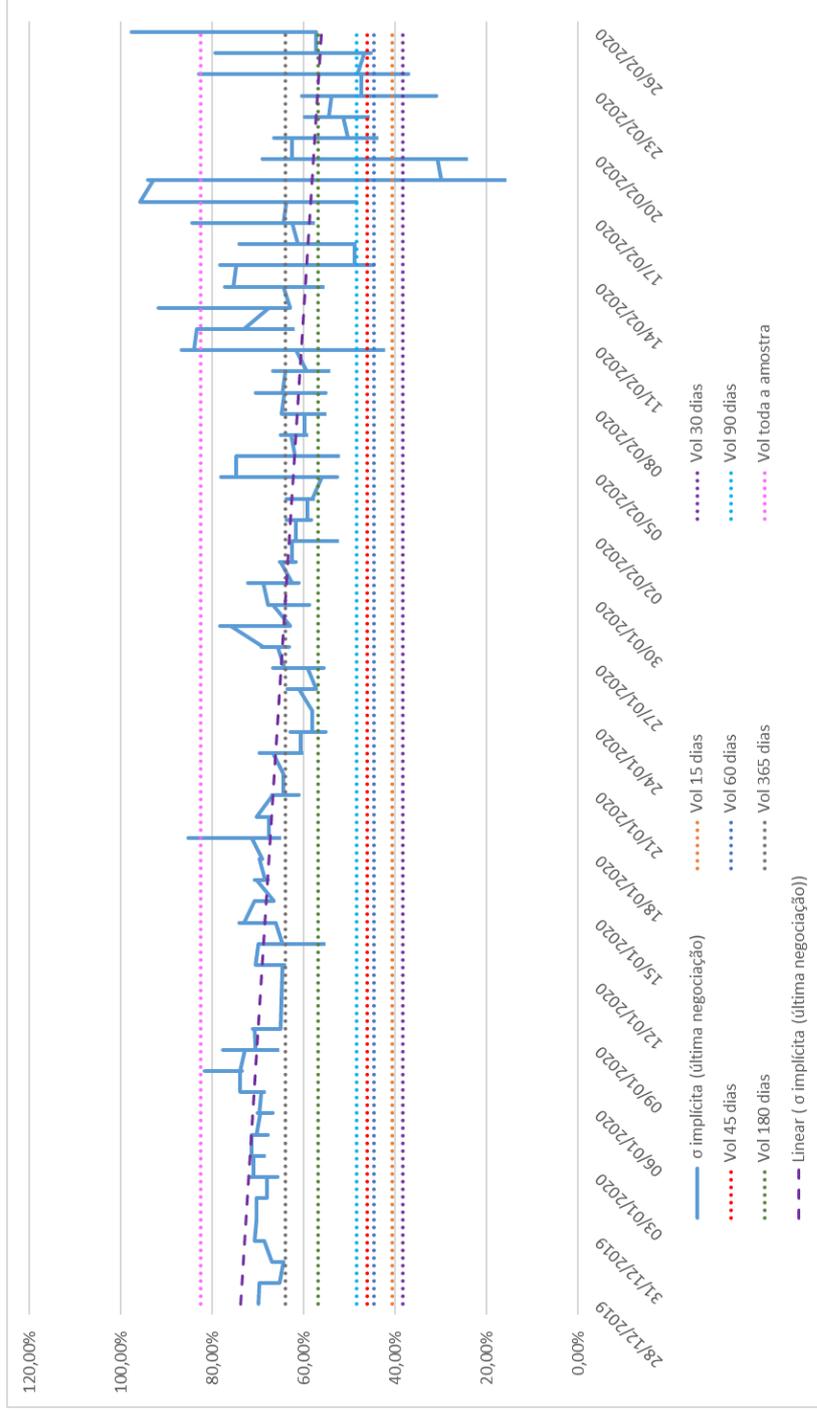
Em relação às *calls* com vencimentos em 26 de junho de 2020, sua volatilidade implícita média no período foi de 83,56%, localizando-se próxima à volatilidade histórica de toda a amostra (82,66%). Em decorrência do choque de mercado, a volatilidade histórica aumentou consideravelmente em meados de março de 2020, porém, não tanto quanto a série de volatilidades de *calls* com vencimento

em 27 de março de 2020, chegando ao pico de 144,24%. Essa série de opções foi afetada em menor escala pelo choque que a série mais longa, com vencimento em 25 de setembro de 2020, tendo em vista possuir vencimento mais curto.

Finalmente, em relação às *calls* com vencimentos em 25 de setembro de 2020, sua volatilidade implícita média no período foi de 87,32%, localizando-se próxima à volatilidade histórica de toda a amostra (82,66%). Em decorrência do choque de mercado, a volatilidade histórica, assim como em séries anteriores, aumentou consideravelmente em meados de março de 2020, porém, não tanto quanto a série de volatilidades de *calls* com vencimentos mais curtos, chegando ao pico de 118,46%. Essa série de opções foi a menos afetada pelo choque, tendo em vista possuir o vencimento mais longo entre todas as séries analisadas.

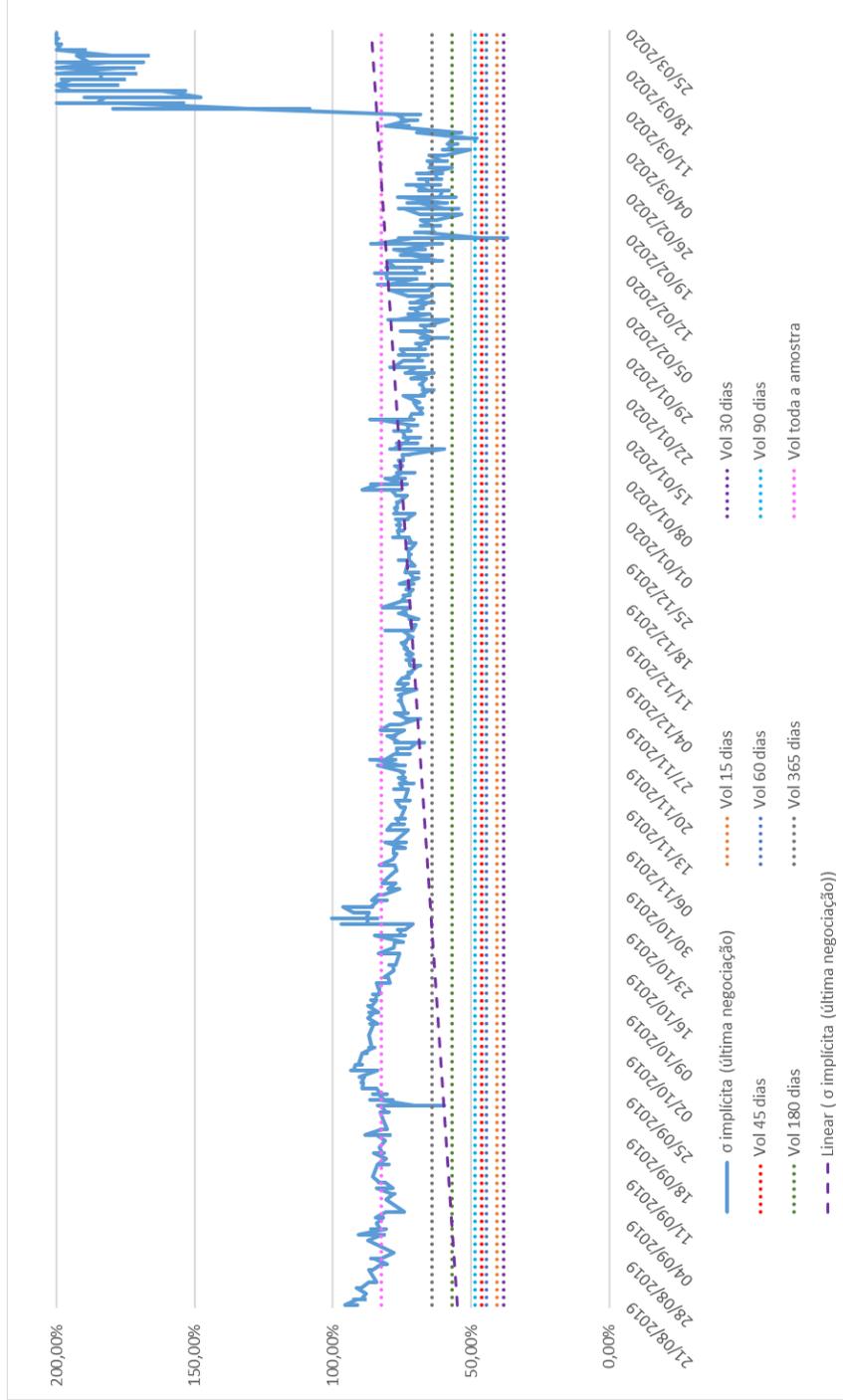
Isto posto, pode-se concluir que, apesar de choques serem acontecimentos imprevisíveis que impactam o poder de previsão das volatilidades históricas, pode-se identificar características de reversão à média nos gráficos de todas as séries de volatilidades implícitas, já que os valores tenderam a se deslocarem para a média ao longo do tempo. Além disso, para casos de opções com vencimentos mais longos em relação à data da precificação, as volatilidades históricas possuem razoáveis poderes de previsão, podendo ser interessante sua utilização para precificação de opções através das fórmulas de Black-Scholes-Merton, como alternativa ou em conjunto com volatilidades históricas, tendo em vista aparentar possuir algum tipo de validade para esse fim.

**Gráfico 4.8 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de calls de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 28 de fevereiro de 2020**



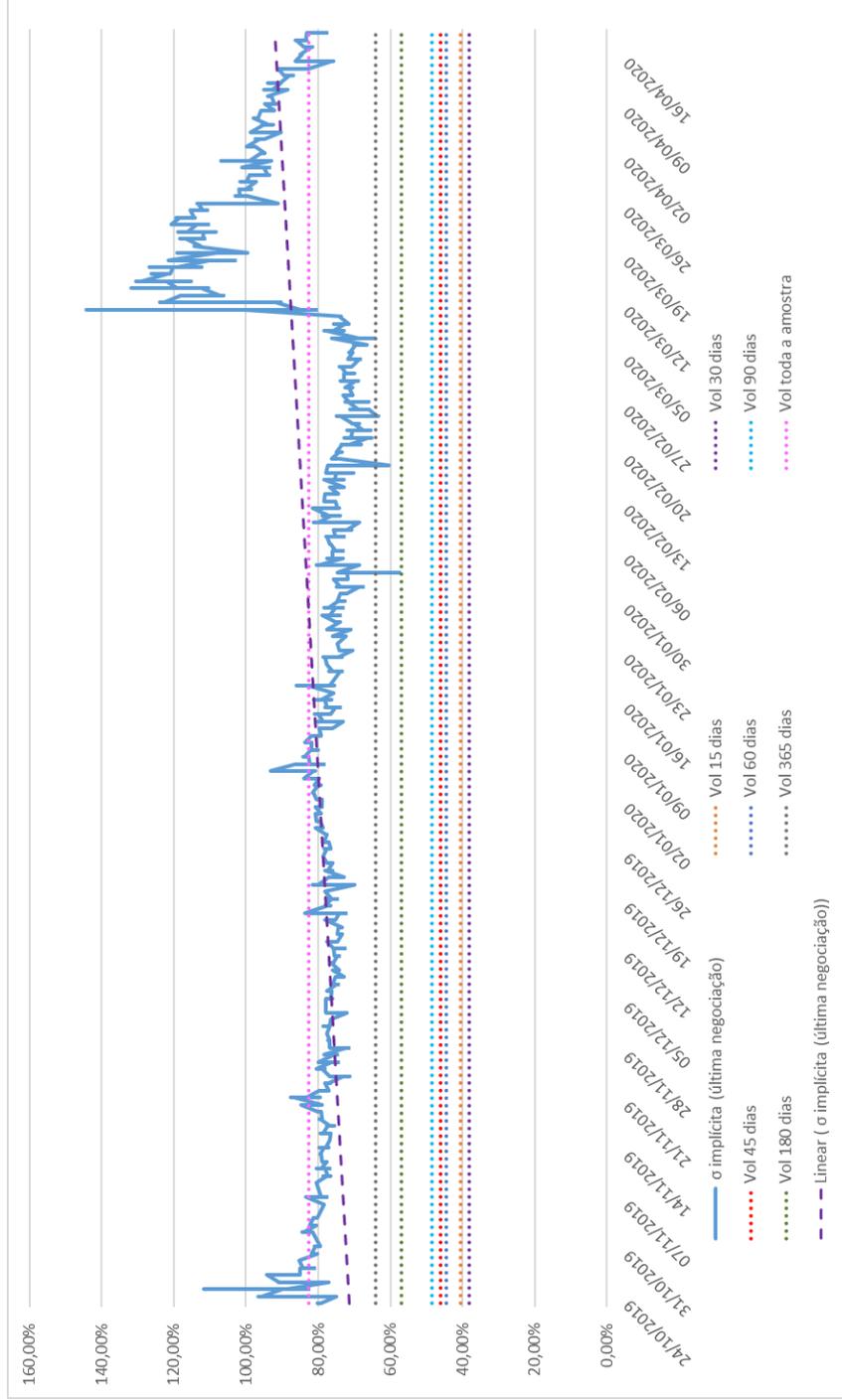
Fontes: Deribit.com e dados do estudo

**Gráfico 4.9 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de calls de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 27 de março de 2020**



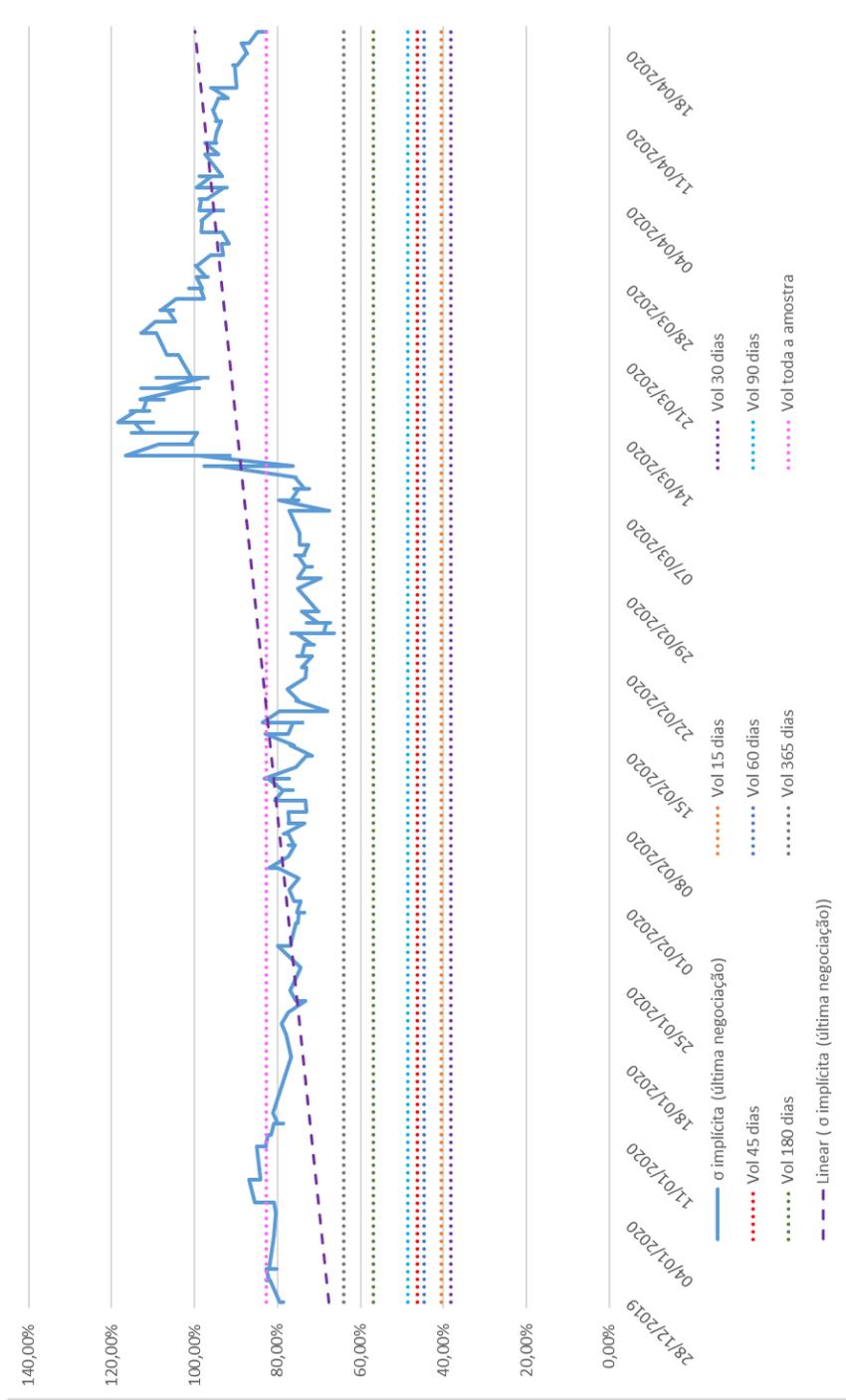
Fontes: Deribit.com e dados do estudo

**Gráfico 4.10 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de calls de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de strike USD 10.000,00 e vencimento em 26 de junho de 2020**



Fontes: Deribit.com e dados do estudo

**Gráfico 4.11 Comparação entre volatilidades históricas e implícitas de calls de bitcoin contra dólares dos Estados Unidos, de *strike* USD 10.000,00 e vencimento em 25 de setembro de 2020**



Fontes: Deribit.com e dados do estudo

### 4.3.

#### Síntese dos Resultados Alcançados

Essa seção sintetiza os resultados alcançados através da vinculação das análises com o referencial teórico, e aborda sugestões de decisões negociais amparadas nesses resultados.

Quanto à identificação e à validação do processo estocástico da série de preços *spot* de bitcoin (BRR), os testes expandidos de Dickey-Fuller demonstraram que há evidências estatísticas de que a série de preços possui uma única raiz unitária e segue um caminho aleatório, portanto, tem comportamento similar a um Movimento Geométrico Browniano, o que possibilita a utilização do modelo de Black-Scholes-Merton para precificação de opções de criptoativos.

Pinto (2009, p. 30) ressalta que é muito difícil rejeitar a hipótese nula de raiz unitária, ou seja, a série segue um caminho aleatório (MGB). De qualquer forma, utilizar o MGB para modelagem de preços do mercado de criptoativos e para negociações de prazo curtos parece fazer sentido econômico, tendo em vista ser um mercado recente, com grande volatilidade, e sem aparente sinalização de comportamento de reversão à média.

Quanto à precificação de contratos futuros de criptoativos, os resultados encontrados sugerem que há prêmio exigido pelo mercado, que varia entre valores positivos e negativos ao longo do tempo, indo ao encontro das teorias *backwardation* normal e *contango*, e da hipótese da proteção líquida, o que prejudica o poder de previsão da série de futuros, sugerindo que essa metodologia tradicional de apreçamento de futuros não é adequada às séries de preços de bitcoin

A respeito do emprego das fórmulas de Black-Scholes-Merton para precificação de opções de compra (*calls*) de bitcoin com a utilização de volatilidades históricas e implícitas, os resultados mostram que, apesar de choques serem acontecimentos imprevisíveis que impactam o poder de previsão das volatilidades históricas, pode-se identificar características de reversão à média nos gráficos de todas as séries de volatilidades implícitas, já que os valores tenderam a se deslocarem para a média ao longo do tempo. Além disso, para casos de opções com vencimentos mais longos em relação à data da precificação, as volatilidades históricas possuem razoáveis poderes de previsão, podendo ser interessante sua utilização para precificação de opções através das fórmulas de Black-Scholes-Merton, tendo em vista aparentar possuir algum tipo de validade para esse fim.

Os resultados são compatíveis com Benninga (2014), que defende que é impossível dizer qual dos dois métodos é melhor para precificação de opções. O autor afirma que é comum atribuir ao retorno histórico algum tipo de validade como preditor dos retornos futuros previstos, e que a volatilidade implícita dá um bom indicador sobre como o mercado está pensando naquele momento, sendo interessante realizar a comparação de resultados com a utilização de ambos. No entanto, cabe alertar que uma das premissas para a realização da precificação de opção através das fórmulas de Black-Scholes-Merton é de que o retorno do criptoativo está distribuído lognormalmente, ou seja, que o logaritmo natural de um mais o retorno é normalmente distribuído, com média  $\mu \Delta T$  e variância  $\sigma^2 \Delta T$  (BENNINGA, 2014). No entanto, os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro Wilk rejeitaram a hipótese nula de normalidade dos retornos da 1ª diferença dos logaritmos da série de preços CME Bitcoin Reference Rate, o que viola a premissa de lognormalidade dos retornos. Não obstante, Fama (1965, apud FORTUNE, 1996) demonstrou que a distribuição dos logaritmos dos retornos dos preços de ações possui caudas pesadas, ou seja, a frequência relativa a variações muito altas é maior que a observada na distribuição normal, além de possuírem distribuição leptocúrtica (curtose acima de zero) e com pequena assimetria (muito próxima a zero), similar ao comportamento da série CME Bitcoin Reference Rate. Hull (2016) explica que *traders* utilizam sorrisos de volatilidade – a relação entre a volatilidade implícita de uma opção e seu preço de exercício – para levar em conta a não lognormalidade. Assim, para fins de simplificação, esse estudo relaxou a premissa do modelo de Black-Scholes-Merton de lognormalidade dos retornos.

## 5

### Conclusão

Esse estudo pretendeu avaliar se a utilização de ferramentas tradicionais de precificação de derivativos para a realização da análise do mercado de criptoativos geram resultados coerentes com os preços praticados pelo mercado. O foco do estudo recaiu sobre a utilização dessas ferramentas para analisar série de preços à vista e futuros do bitcoin, criptoativo que possui atualmente a maior capitalização de mercado. Tal questão se mostrou interessante e importante pois, uma vez comprovado que os resultados da utilização dessas ferramentas para analisar o mercado de criptoativos se mostrem satisfatórios, sua aplicação nesse mercado poderia ser justificada e recomendada.

Em sequência, foram analisadas, sob a ótica Houben e Snyers (2020, p. 16-17), definições para o termo “criptoativos”, de acordo com autoridades reguladoras, órgãos de definição de padrões e dos próprios autores, tendo em vista ainda existirem textos legais e documentos de políticas que usam diferentes termos, como moedas virtuais, moedas, moedas digitais ou ativos digitais, para se referirem a alguns ou todos os tipos de criptoativos, sendo interessante enquadrar, quando necessário, esses termos em uma taxonomia mais ampla denominada “criptoativos”, para fins desse estudo.

Foi também analisado como alguns autores, como Baur, Hong e Lee (2017, p. 3), Mittal (2012, p. 22), Murphy, Murphy e Seitzinger (2015, p. 7) e Umlauf (2018, p. 3), definem os criptoativos, de acordo com suas características – como *commodities* ou como moedas, o que se mostrou importante para subsidiar a realização da identificação e validação do processo estocástico de preços utilizados no estudo.

Foi abordada a questão da validação da utilização do processo estocástico Movimento Geométrico Browniano (MGB) para realização da modelagem da série histórica de preços do bitcoin, dada a indisponibilidade de séries de preços longas e a necessidade de aguardar a consolidação do mercado, entretanto sem descartar a possibilidade de realização da modelagem através de outros processos estocásticos, como Movimento de Reversão à Média, processo com saltos, ou mesmo através da composição de um MGB com um MRM, conforme Brooks

(2019), Dixit e Pindyck (1994), Hull (2016), Lee e Low (2018), Pinto (2009), Wooldrige (2016), e outros.

Por fim, foi abordado o referencial teórico que norteou a precificação de derivativos de criptoativos, como contratos futuros e opções de compra de bitcoin, utilizando ferramentas tradicionais para esse fim, de acordo com Benninga (2014), Ehrhardt e Brigham (2011), Fortune (1996), Hull (1996), Hull (2016), Press (1967), dentre outros.

Para atingir os objetivos pretendidos, primeiramente foram realizados testes expandidos de Dickey-Fuller sobre os logaritmos naturais e sobre a primeira diferença dos logaritmos naturais da série CME Bitcoin Reference Rate, com e sem tendência temporal, para identificar se a série de preços tem comportamento similar a um Movimento Geométrico Browniano, possibilitando assim a utilização das fórmulas de Black-Scholes-Merton para precificação de opções. Tendo em vista que os testes sobre os logaritmos naturais da série, com e sem tendência temporal, falharam em rejeitar a hipótese nula de existência de raiz unitária para valores críticos menores ou iguais a 10%, e os testes sobre a primeira diferença dos logaritmos naturais da série, com e sem tendência temporal, rejeitaram a hipótese nula de existência de raiz unitária para valores críticos menores ou iguais a 10%, há evidências estatísticas que a série de preços possui uma única raiz unitária, ou seja, possui comportamento similar a um Movimento Geométrico Browniano.

Em seguida, foi realizada a comparação dos resultados da precificação teórica do valor esperado, calculado na data inicial  $T_0$ , do preço spot do bitcoin na data de vencimento do contrato futuro  $T$ , ou seja,  $E_{T_0}(S_T)$ , onde  $T_0 < T$ , utilizando-se a CME Bitcoin Reference Rate (BRR) como série de preços spot ( $S_0$ ) e a Effective Federal Funds Rate (EFFR) como taxa livre de risco ( $r$ ), com os preços futuros do bitcoin praticados pelo mercado na data  $T_0$ , ou seja,  $F_{T_0}$ , ou  $F_0$ , disponibilizados na série Bitcoin Futures CME May'20, para fins de verificação de eventual cobrança de prêmio nos contratos futuros de bitcoin. A partir dos resultados, chegou-se à conclusão de que o mercado cobra prêmio nos contratos futuros, positivos ou negativos, o que vai ao encontro das teorias backwardation normal e contango, e também da hipótese da proteção líquida. A cobrança de prêmio, que pode estar relacionada aos riscos inerentes ao mercado de *commodities*, como liquidez, contraparte, perspectivas futuras positivas ou negativas, dentre outros, aos riscos inerentes a um ativo digital e recente, como seu caráter especulativo, a possibilidade de perdas decorrentes de falhas de segurança e fraudes, e os riscos

legais e regulatórios, prejudica o poder de previsão da série de futuros, sugerindo que essa metodologia tradicional de apreçamento de futuros não é adequada às séries de preços de bitcoin.

Por fim, foram realizadas precificações de opções de compra europeias de bitcoin utilizando as fórmulas de Black-Scholes-Merton, com a utilização de volatilidades históricas e implícitas, para que posteriormente pudessem ser comparados os resultados. O estudo identificou que a premissa de lognormalidade dos retornos para utilização das fórmulas de Black-Scholes-Merton foram violadas, tendo em vista que os logaritmos naturais dos retornos da série CME Bitcoin Reference Rate não era lognormal. No entanto, tendo em vista que o mercado costuma corrigir essa questão através da utilização de sorrisos de volatilidade, e para fins de simplificação, o estudo relaxou essa premissa. Os resultados mostraram que, apesar de choques no mercado terem sido observados ao longo do período de precificação, o que impactou o poder de previsão das volatilidades históricas, pode-se identificar características de reversão à média nos gráficos de todas as séries de volatilidades implícitas, já que os valores tenderam a se deslocarem para a média ao longo do tempo. Além disso, para casos de opções com vencimentos mais longos em relação à data da precificação, as volatilidades históricas aparentaram possuir algum tipo de validade como preditoras, podendo ser interessante sua utilização para precificação de opções através das fórmulas de Black-Scholes-Merton, como alternativa ou em conjunto com a utilização de volatilidades implícitas.

## 5.1.

### **Sugestões e recomendações para novas pesquisas**

Como desdobramentos futuros, essa linha de pesquisa pode ser estendida através da investigação de outras séries de preços que compõem o mercado de criptoativos distintos da série do bitcoin, tendo em vista que certos criptoativos possuem características distintas que podem influenciar na sua precificação, como sua rastreabilidade, segurança, liquidez, questões legais e regulatórias envolvidas, dentre outros, podendo levar a resultados diferentes dos alcançados nesse estudo.

Outra sugestão para desdobramentos futuros dessa linha de pesquisa é a verificação da adequabilidade da utilização de outros processos estocásticos para realização da modelagem de séries históricas após a consolidação do mercado

de criptoativos, como Movimento de Reversão à Média, processo de saltos ou mesmo uma composição de um MGB com um MRM.

Uma sugestão adicional é a realização de estudos para verificação dos motivos inerentes à cobrança de prêmio no mercado futuro. Por possuírem características semelhantes às de *commodities*, os riscos dos criptoativos podem estar relacionados aos riscos inerentes ao mercado de *commodities*, como liquidez, contraparte, perspectivas futuras positivas ou negativas, dentre outros, além dos riscos inerentes à um ativo digital recente, como o caráter especulativo, a possibilidade de perdas decorrentes de falhas de segurança e fraudes, riscos legais e regulatórios.

Também é válida a complementação desse estudo com a realização de precificação de derivativos de criptoativos utilizando outros métodos, como árvores binomiais e simulação de Monte Carlo, permitindo a comparação de resultados, a identificação das melhores metodologias e o desenvolvimento de novas.

## Referências bibliográficas

- ALLEN, F.; MCANDREWS, J.; STRAHAN, P. E-finance: an introduction. **Journal of Financial Services Research** **22**, 1-2, ago. 2002. 5-27.
- BAUR, D. G.; HONG, K.; LEE, A. D. **Bitcoin**: medium of exchange or speculative assets?, 26 set. 2017. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2561183](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2561183)>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- BENNINGA, S. **Financial modeling**. 4th. ed. Cambridge: The MIT Press, 2014.
- BITCOIN PROJECT. **Bitcoin**, 2009-2019. Disponível em: <[https://bitcoin.org/pt\\_BR/](https://bitcoin.org/pt_BR/)>. Acesso em: 11 abr. 2019.
- BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. J. **Investments**. 10. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014.
- BROOKS, C. **Introductory econometrics for finance**. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
- CLOHESSY, T.; ACTON, T.; ROGERS, N. Blockchain adoption: technological, organisational and environmental considerations. In: TREIBLMAIER, H.; BECK, R. **Business transformation through blockchain**. Cham: Palgrave Macmillan, v. 1, 2018. Cap. 2, p. 47-76.
- CME GROUP. **CME Bitcoin Futures Frequently Asked Questions**, 2020. Disponível em: <<https://www.cmegroup.com/education/bitcoin/cme-bitcoin-futures-frequently-asked-questions.html>>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Tradução de Magda Lopes. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 296 p.
- DERIBIT. **Deribit CryptoCurrency Exchange**, 2020. Disponível em: <<https://www.deribit.com/pages/docs/>>. Acesso em: 07 mar. 2020.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- EHRHARDT, M. C.; BRIGHAM, E. F. **Financial management: theory and practice**. 13. ed. Mason: Cengage Learning, 2011.
- EUROPEAN CENTRAL BANK. **Virtual currency schemes – a further analysis**, 2015. Disponível em: <<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/other/virtualcurrency-schemesen.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

FORTUNE, P. Anomalies in option pricing: the Black-Scholes model revisited. **New England Economic Review**, 25 mar. 1996. Disponível em: <<https://www.bostonfed.org/-/media/Documents/neer/neer296b.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

Houben, R.; SNYERS, A. **Crypto-assets: key developments, regulatory concerns and responses**, abr. 2020. Disponível em: <[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/648779/IPOL\\_STU\(2020\)648779\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/648779/IPOL_STU(2020)648779_EN.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2020.

HULL, J. C. **Introdução aos mercados futuros e de opções**. 2. ed. São Paulo: BM&F, 1996.

HULL, J. C. **Opções, futuros e outros derivativos**. Tradução de Francisco Araújo da Costa. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 968 p.

LEE, D. K. C.; LOW, L. **Inclusive fintech: blockchain, cryptocurrency and ICO**. New York: World Scientific, 2018.

MANKIW, N. G. **Introdução à economia**. Tradução de Allan Vidigal Hastings; Elizete Paes e Lima e Ez2 Translate. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

MITTAL, S. **Is bitcoin money? Bitcoin and alternate theories of money**, 2012. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2434194](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2434194)>. Acesso em: 05 jan. 2020.

MORGAN, C. W.; RAYNER, A. J.; ENNEW, C. T. Price instability and commodity futures markets, v. 22, n. 11, p. 1729-1736, Novembro 1994.

MURPHY, E. V.; MURPHY, M. M.; SEITZINGER, M. V. Bitcoin: questions, answers, and analysis of legal issues. **Congressional Research Service**, 13 out. 2015. Disponível em: <<https://fas.org/sgp/crs/misc/R43339.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2020.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system**, 2018. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

PINTO, C. D. L. B. **Modelagem de opções reais com processos de reverão à media em tempo discreto: uma aplicação na indústria brasileira de etanol**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 164. 2009.

PRESS, S. J. A compound events model for security prices. **The Journal of Business**, Chicago, v. 40, n. 3, p. 317-335, jul. 1967. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2351754>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

STRÜKER, J.; REICHERT, S.; ALBRECHT, S. Blockchain in the energy sector. In: TREIBLMAIER, H.; BECK, R. **Business Transformation Through Blockchain**. Cham: Palgrave Macmillan, v. 2, 2019. Cap. 2, p. 362.

TASCA, P. **Digital Currencies: principles, trends, opportunities, and risks**, 07 set. 2015. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2657598](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2657598)>. Acesso em: 11 abr. 2019.

TASCA, P. Insurance under the blockchain paradigm. In: HORST, T.; BECK, R. **Business transformation through blockchain**. Cham: Palgrave Macmillan, v. 1, 2019. Cap. 9, p. 290.

UMLAUFT, T. S. **Is bitcoin money? An economic-historical analysis of money, its functions and its prerequisites**, jul. 2018. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3182646](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3182646)>. Acesso em: 05 jan. 2020.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introductory econometrics: a modern approach**. 6. ed. Boston: Cengage Learning, 2016.