

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Jéferson Réus da Silva Schulz

**UMA ANÁLISE EMPÍRICA DO ÍNDICE CARBONO EFICIENTE (ICO₂)
NO MERCADO FINANCEIRO BRASILEIRO**

Santa Maria, RS
2018

Jéferson Réus da Silva Schulz

**UMA ANÁLISE EMPÍRICA DO ÍNDICE CARBONO EFICIENTE (ICO₂) NO
MERCADO FINANCEIRO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Janis Elisa Ruppenthal

Santa Maria, RS
2018

Schulz, Jéferson Réus da Silva
Uma análise empírica do Índice Carbono Eficiente
(ICO2) no mercado financeiro brasileiro / Jéferson Réus
da Silva Schulz.- 2018.
155 p.; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, RS, 2018

1. Sustentabilidade 2. Mercado Financeiro 3.
Investimento Socialmente Responsável 4. Índice Carbono
Eficiente 5. Volatilidade I. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2018

Todos os direitos autorais reservados a Jéferson Réus da Silva Schulz. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Jéferson Réus da Silva Schulz

**UMA ANÁLISE EMPÍRICA DO ÍNDICE CARBONO EFICIENTE (ICO₂) NO
MERCADO FINANCEIRO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**.

Aprovado em 09 de março de 2018:

**Janis Elisa Ruppenthal, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)**

Anderson Antonio Denardin, Dr. (UFSM)

Daniela Dias Kühn, Dr^a. (UFRGS) – Parecer

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

Esse trabalho dedico ao meu irmão Vítor, que é a luz da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de tecer alguns agradecimentos a pessoas importantes que contribuíram de alguma forma nessa etapa importante da minha vida.

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e pela saúde.

Agradeço aos meus pais, Selvino e Janete, por sempre terem buscado conceder a mim as oportunidades que não tiveram, além dos ensinamentos e de todo o suporte emocional que contribuíram para que eu me tornasse a pessoa que sou.

Agradeço aos amigos que se fizeram presente em minha vida durante essa caminhada, me dando apoio e tornando o meu viver mais agradável e feliz, tornando-se verdadeiros presentes. Entre tantos, gostaria de citar alguns nomes especiais que vivenciaram comigo essa trajetória: Alécio, Andressa, Bruna, Camila Félix, Camila Kluge, Caroline, Daiane, Danieli, Denise, Fernanda, Franco, Henri, Jocieli, Kássia, Larissa, Leandro, Luíz, Marina, Micheli, Patrícia, Rita, Vanessa de Conto, Vanessa Zucco e Victor.

Agradeço à minha psicóloga Jéssica por me ajudar a superar as adversidades que enfrentei durante esse trajeto.

Agradeço à minha orientadora Janis por ter me concedido a oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Agradeço aos membros da banca, Anderson e Daniela, pela avaliação do meu trabalho de dissertação e por todas as suas contribuições.

Por fim, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, o qual foi imprescindível.

Cura gay?

*mas que loucura,
quanta frescura
e falta de ternura.*

*dá para imaginar
que o direito de ser feliz
a alguém possa incomodar?*

*é preciso aprender a amar
as pessoas como elas são
e compreender que diferença
não implica exclusão!*

*quem pediu para ser curado?
há alguém doente?
talvez quem não aguenta ver
uma pessoa feliz e sorridente.*

*não é preciso gostar!
que tal apenas respeitar?
porque onde há amor
não existe doença para curar!*

Jéferson Réus da Silva Schulz

RESUMO

UMA ANÁLISE EMPÍRICA DO ÍNDICE CARBONO EFICIENTE (ICO₂) NO MERCADO FINANCEIRO BRASILEIRO

AUTOR: Jéferson Réus da Silva Schulz

ORIENTADORA: Janis Elisa Ruppenthal

A necessidade de estimular práticas produtivas que visam a transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono, coloca-se como um fator essencial capaz de contribuir para a redução das externalidades negativas decursivas do processo de produção. No entanto, o desafio consiste em criar alternativas atrativas para o universo corporativo que sejam capazes de estimular a sua adesão a esse novo paradigma produtivo. O mercado financeiro detém capacidade monetária passível de fomentar ações que permitam minimizar os efeitos adversos provocados pelas mudanças climáticas, especificamente, através das operações de alocação de recursos viabilizadas pelo mercado de capitais. Assim, observa-se a criação de índices de sustentabilidade empresarial que possibilitam gerar valor para as empresas e para os investidores interessados em critérios ambientais, sociais e de governança corporativa (ASG). O Índice Carbono Eficiente (ICO₂) da Bolsa de Mercadorias e de Futuros da Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA), busca incentivar as empresas emissoras das ações mais negociadas a aferir, a divulgar e a monitorar as suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) para atuarem em uma economia de baixo carbono. Com efeito, objetiva-se analisar na presente pesquisa a situação atual da inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro, através de uma análise empírica do ICO₂. O estudo insere-se nas discussões sobre a sustentabilidade relacionando esse conceito com o mercado financeiro, em que se destaca um novo segmento de investidores existente no mercado de capitais. Esses investidores consideram os impactos socioambientais dos seus investimentos e não somente as possibilidades de auferir retornos de natureza financeira, priorizando uma conduta socialmente responsável das empresas através da aplicação de uma técnica de triagem na composição do portfólio. Isso fez surgir o investimento socialmente responsável (ISR), o qual está fora da abordagem teórica tradicional sobre finanças. O método utilizado na presente pesquisa consiste em analisar os retornos diários do ICO₂ e do Índice Bovespa (Ibovespa) com base na aplicação de modelos de volatilidade específicos para a análise de séries temporais financeiras. Realiza-se também uma investigação de caráter teórico objetivando a discussão da problemática que gravita em torno da inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro, especificamente, no âmbito de uma ação específica para estimular a adesão a uma economia de baixo carbono. Os resultados mostram que o ICO₂ é pouco reativo aos movimentos do mercado, apresentando uma inércia elevada e a presença de efeito alavancagem, evidenciando que notícias negativas afetam a sua volatilidade em uma magnitude maior do que notícias positivas. Além disso, o ICO₂ mostra-se menos volátil à dinâmicas do mercado comparativamente ao Ibovespa, estando associado também a um nível de risco menor. A presente pesquisa mostrou que o ICO₂, enquanto uma ação específica para estimular as empresas a atuarem em uma economia de baixo carbono, permite reduzir as externalidades negativas geradas pelo processo produtivo. Assim, a análise do Índice sugere que a inserção da sustentabilidade no mercado financeiro possibilita minimizar determinados conflitos entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a progressão social ao gerar valor para as empresas e para os investidores, ao mesmo tempo em que reduz os impactos adversos do aquecimento global, o que beneficia também a sociedade e o meio ambiente. Ou seja, é possível reduzir o *trade-off* entre as dimensões do desenvolvimento sustentável sem gerar maiores adversidades na economia.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Mercado Financeiro. Investimento Socialmente Responsável. Índice Carbono Eficiente. Volatilidade.

ABSTRACT

AN EMPIRICAL ANALYSIS OF THE EFFICIENT CARBON INDEX (ICO₂) IN THE BRAZILIAN FINANCIAL MARKET

AUTHOR: Jéferson Réus da Silva Schulz

ADVISOR: Janis Elisa Ruppenthal

The need to stimulate productive practices aimed at the transition from an intensive economy in the use of fossil fuels to a low-carbon economy, is an essential factor capable of reducing the negative externalities of the production process. However, the challenge is to create attractive alternatives for the corporate universe that are capable of stimulating their adherence to this new productive paradigm. The financial market has a monetary capacity capable of promoting actions that minimize the adverse effects caused by climate change, specifically through the operations of resource allocation made possible by the capital market. Thus, it is possible to observe the creation of corporate sustainability indices that generate value for companies and for investors interested in environmental, social and corporate governance (ESG) criteria. The Efficient Carbon Index (ICO₂) of the Mercantile and Futures Exchange of the São Paulo Stock Exchange (BM&FBOVESPA) seeks to encourage companies that issue the most negotiated actions to measure, disclose and monitor their greenhouse gas (GHG) to operate in a low carbon economy. The objective of this study is to analyze the current situation of the insertion of sustainability in the Brazilian financial market, through an empirical analysis of ICO₂. The study is part of the discussions on sustainability, relating this concept to the financial market, in which a new segment of investors exists in the capital market. These investors consider the socio-environmental impacts of their investments and not only the possibility of obtaining returns of a financial nature, prioritizing a socially responsible conduct of the companies through the application of a screening technique in the composition of the portfolio. This has given rise to socially responsible investment (SRI), which is outside the traditional theoretical approach to finance. The method used in this research consists of analyzing the daily returns of the ICO₂ and the Bovespa Index (Ibovespa) based on the application of specific volatility models for the analysis of financial time series. A theoretical research is also carried out aiming at the discussion of the problematic that revolves around the insertion of sustainability in the Brazilian financial market, specifically within the framework of a specific action to stimulate the adhesion to a low carbon economy. The results show that the ICO₂ is little reactive to market movements, presenting a high inertia and the presence of a leverage effect, evidencing that negative news affects its volatility in a magnitude greater than positive news. In addition, the ICO₂ is less volatile to market dynamics than the Ibovespa and is also associated with a lower level of risk. The present study showed that the ICO₂, as a specific action to stimulate companies to operate in a low carbon economy, reduces the negative externalities generated by the production process. Thus, the analysis of the Index suggests that the insertion of sustainability in the financial market makes it possible to minimize certain conflicts between economic growth, environmental preservation and social progression by generating value for companies and investors, while reducing the impacts adverse effects of global warming, which also benefits society and the environment. That is, it is possible to reduce the trade-off between the dimensions of sustainable development without generating greater adversities in the economy.

Keywords: Sustainability. Financial Market. Socially Responsible Investment. Efficient Carbon Index. Volatility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Série da pontuação de fechamento diária do ICO_2	95
Figura 2 – Série dos retornos diários do ICO_2	96
Figura 3 – Volatilidade estimada dos retornos diários do ICO_2 através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1).....	112
Figura 4 – Série da pontuação de fechamento diária do Ibovespa.....	119
Figura 5 – Série dos retornos diários do Ibovespa.....	120
Figura 6 – Volatilidade estimada dos retornos diários do Ibovespa através do modelo ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1).....	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Categorias de capital utilizadas no processo de conceituação da sustentabilidade...	23
Quadro 2 – Dimensões do desenvolvimento sustentável.....	30
Quadro 3 – Revisão de literatura sobre o desempenho dos ISR.....	52
Quadro 4 – Enquadramento metodológico da pesquisa.....	67
Quadro 5 – Critérios para a identificação das ordens p e q de modelos candidatos.....	73
Quadro 6 – Definição matemática dos critérios de informação BIC, AIC e HQ.....	77
Quadro 7 – Modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2	98
Quadro 8 – Modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2	101
Quadro 9 – Modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2	103
Quadro 10 – Modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do ICO_2	106
Quadro 11 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do ICO_2	109
Quadro 12 – Modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa.....	121
Quadro 13 – Modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa.....	124
Quadro 14 – Modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa.....	126
Quadro 15 – Modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa.....	128
Quadro 16 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa.....	130
Quadro 17 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para as séries de retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa.....	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do ICO_2	92
Tabela 2 – Resultados dos testes de raiz unitária para a série de retornos diários do ICO_2	93
Tabela 3 – Resultados dos testes de tendência para a série de retornos diários do ICO_2	94
Tabela 4 – Resultados dos testes de sazonalidade determinística para a série de retornos diários do ICO_2	94
Tabela 5 – Resultados dos testes de normalidade e de heterocedasticidade condicional para os resíduos e os resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,3).....	100
Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do Ibovespa.....	116
Tabela 7 – Resultados dos testes de raiz unitária para a série de retornos diários do Ibovespa.....	117
Tabela 8 – Resultados dos testes de tendência para a série de retornos diários do Ibovespa.....	117
Tabela 9 – Resultados dos testes de sazonalidade determinística para a série de retornos diários do Ibovespa.....	118
Tabela 10 – Resultados dos testes de normalidade e de heterocedasticidade condicional para os resíduos e os resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,1).....	123
Tabela 11 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa.....	134

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 HIPÓTESES DA PESQUISA.....	18
1.4 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	18
1.5 ESTRUTURA E APRESENTAÇÃO DA PESQUISA.....	21
2 ASPECTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS	22
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	22
2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	28
2.3 ECONOMIA VERDE.....	31
2.4 ECONOMIA DE BAIXO CARBONO.....	35
2.5 SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA.....	37
2.6 FINANÇAS SUSTENTÁVEIS.....	42
2.7 INVESTIMENTOS SOCIALMENTE RESPONSÁVEIS.....	43
2.8 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL.....	60
2.9 TEORIA MODERNA DO PORTFÓLIO E HIPÓTESE DE MERCADOS EFICIENTES.....	62
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	67
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	67
3.2 FONTE E BASE DE DADOS DA PESQUISA.....	68
3.3 MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS UNIVARIADAS ESTACIONÁRIAS....	69
3.4 MODELOS DA CLASSE ARMA.....	78
3.4.1 Processo autorregressivo (AR)	79
3.4.2 Processo de médias móveis (MA)	79
3.4.3 Processo autorregressivo de médias móveis (ARMA)	79
3.5 MODELOS DA CLASSE ARCH.....	80
3.5.1 Modelo ARCH	81
3.5.2 Modelo GARCH	82
3.5.3 Modelo TGARCH	84
3.5.4 Modelo EGARCH	86
3.5.5 Procedimentos para a aplicação dos modelos da classe ARCH	87

3.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS SÉRIES DE RETORNOS DIÁRIOS DO ICO ₂ E DO IBOVESPA.....	89
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DA DISCUSSÃO DA PESQUISA.....	92
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO ₂	92
4.2 ANÁLISE ECONOMETRICA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO ₂	96
4.2.1 Estimação de modelos da classe ARMA para a série de retornos diários do ICO₂	97
4.2.2 Estimação de modelos da classe ARCH para a série de retornos diários do ICO₂	100
4.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO IBOVESPA.....	115
4.4 ANÁLISE ECONOMETRICA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO IBOVESPA.....	120
4.4.1 Estimação de modelos da classe ARMA para a série de retornos diários do Ibovespa.....	121
4.4.2 Estimação de modelos da classe ARCH para a série de retornos diários do Ibovespa.....	123
4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO ₂ E DO IBOVESPA.....	134
4.6 POTENCIALIDADES DO ICO ₂ EM CONTRIBUIR PARA A SUSTENTABILIDADE	138
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	141
REFERÊNCIAS	145

1 INTRODUÇÃO

Os fenômenos recentes observados no sistema climático resultam de uma série de mudanças nas interações de processos naturais que visam manter o equilíbrio entre a energia que é recebida do sol e a sua posterior liberação no espaço, o que satisfaz a condição necessária para conservar a estabilidade do clima no planeta (CORREA-MACANA; COMIM, 2013). As evidências mostram que em todos os continentes e na maioria dos oceanos, as sociedades humanas e o meio natural estão sendo cada vez mais afetados pelas alterações climáticas regionais, particularmente por aumentos de temperatura (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2015).

O aquecimento do sistema climático é uma realidade inequívoca, em que se verifica uma elevação na temperatura média global do ar e do oceano decorrente de mudanças observadas nas concentrações de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2015). Embora as suas causas ainda sejam contestadas, se naturais ou decursivas da ação humana, há uma nítida percepção de que as temperaturas estão aumentando gradativamente (MORAES; FERREIRA FILHO, 2013).

As estimativas mostram que 95,00% das mudanças no clima decorrem do aumento nas concentrações de GEE (IPCC, 2015). Essas alterações climáticas são um problema de ação coletiva em escala global, uma vez que a maioria dos GEE se acumulam ao longo do tempo e se misturam globalmente, de forma que as emissões de qualquer agente afetam a outros agentes (IPCC, 2015). As externalidades¹ decursivas desse processo, que são de caráter negativo, não são refletidas nos preços de mercado e acabam gerando custos sociais que produzem uma situação de ineficiência econômica para a sociedade.

Isso demanda incursões específicas por parte dos agentes tomadores de decisão, de modo que se promova a correção das falhas de mercado geradas. A tecnologia desempenha um papel fundamental na redução das externalidades negativas, atuando como um instrumento facilitador dessa dinâmica. Isso se dá em virtude de que essa ferramenta permite que as empresas realizem substituições entre os insumos utilizados nos seus processos produtivos alterando as suas opções tecnológicas, de forma que se dispensa a necessidade de reduzir o nível de produção (PINDYCK; RUBINFELD, 2010).

¹As externalidades podem surgir entre produtores, entre consumidores ou entre produtores e consumidores, de forma negativa ou positiva. As externalidades negativas ocorrem quando a ação de uma das partes impõe custo à outra, enquanto as externalidades positivas surgem quando a ação de uma das partes beneficia a outra. Além disso, as externalidades constituem importantes causas de falhas de mercado, originando sérias questões de política pública (PINDYCK; RUBINFELD, 2010).

Na medida em que os eventos climáticos extremos não são isolados e tendem a se repetir, as organizações estão suscetíveis ao enfrentamento de uma série de problemas capazes de comprometer o seu desempenho geral (ALVES et al., 2017). Esse cenário requer que se passe a considerar as restrições decorrentes das mudanças no clima para viabilizar o desenvolvimento de estratégias que auxiliem na implementação de operações de baixa emissão de carbono (ALVES et al., 2017).

As modificações do clima não podem ser detidas, mas são passíveis de serem limitadas, o que implica reduzir de modo significativo e sustentado as emissões de GEE (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA, 2016). Isso requer empreender ações específicas que envolvam os diversos segmentos do setor produtivo em uma iniciativa que vise promover a mitigação dessas emissões. Considera-se que as empresas desempenham um papel fundamental nesse processo, uma vez que representam os recursos de produção de uma economia.

Nesse âmbito analítico, as instituições financeiras abarcam uma função importante, não apenas por deterem capacidade monetária no fomento de ações capazes de minimizar os efeitos adversos provocados pelas mudanças climáticas, mas por apresentarem uma considerável representatividade no mercado e na sociedade (BANCO DO BRASIL, 2015). Uma forma interventiva vinculada a esse processo implica mapear riscos e criar alternativas para eles, incentivando atividades de mitigação e de adaptação (BANCO DO BRASIL, 2015).

O setor financeiro compartilha da visão de que as mudanças climáticas representam um dos principais desafios socioambientais do presente e do futuro (BANCO DO BRASIL, 2015). Por essa razão, vem incorporando gradativamente essas variáveis nas operações de negócios, gerenciando riscos e desenvolvendo soluções que respondam adequadamente à busca pela mitigação das emissões dos GEE e à necessidade de adaptação às alterações no clima (BANCO DO BRASIL, 2015). Sob essa perspectiva, uma iniciativa importante consiste na criação e na inclusão de índices de sustentabilidade no mercado de capitais, no caso específico do Brasil, o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) e o Índice Carbono Eficiente (ICO₂), ambos da Bolsa de Mercadorias e de Futuros da Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA) (BANCO DO BRASIL, 2015).

Com efeito, observa-se que tem sido crescente a inclusão de fatores ambientais, sociais e de governança corporativa (ASG) nas atividades tradicionais de investimento, dando origem aos investimentos socialmente responsáveis (ISR) (CUNHA; SAMANEZ, 2013; CUNHA; SAMANEZ, 2014; GONZALEZ-PEREZ; LEONARD, 2015). Assim, depreende-se que a sustentabilidade está cada vez mais evidente nos mercados de capitais, implicando uma série

de impactos nas decisões de investimentos financeiros e nas missões das bolsas de valores mundiais (CUNHA; SAMANEZ, 2013; CUNHA; SAMANEZ, 2014).

As questões ASG refletem informações que desempenham um papel importante no processo de tomada de decisão de investimentos e na adequação de produtos, de serviços e de operações oferecidos aos investidores (BM&FBOVESPA, 2017). Para as empresas que estão na vanguarda dessa mudança de paradigma, existem inúmeras oportunidades de obtenção de vantagem competitiva, sobretudo em relação ao gerenciamento de riscos e à redução de custos, que se traduzem em geração de valor para os acionistas.

Nesse cenário, a sustentabilidade corporativa constitui-se em uma ferramenta importante que visa incentivar ações capazes de gerar benefícios que transcendem os resultados financeiros das organizações, atingindo também o meio ambiente e a sociedade (SOLER-DOMÍNGUEZ; MATA LLÍN-SÁEZ; 2016). O compromisso das empresas com as questões ASG, em especial em relação à mitigação das emissões de GEE, gera valor para os *stakeholders* tornando-se um atrativo a mais para os investidores, sobretudo para aqueles interessados em ISR. Isso, via de regra, representa uma ferramenta importante capaz de viabilizar a canalização de recursos financeiros em direção ao estímulo de uma economia mais sustentável.

Nos Estados Unidos, os fundos de ISR apresentam um volume total de US\$8,1 trilhões em 2016, com um aumento de 33,00% em relação a 2014 (BM&FBOVESPA, 2017). Na Europa, a quantidade de ativos movimentados por esse segmento totaliza €23,0 trilhões em 2016, com um crescimento de 42,00% em comparação a 2014 (BM&FBOVESPA, 2017).

No Brasil, dados referentes ao ano de 2016 mostram que 68,10% dos gestores aplicam pelo menos um dos critérios ASG no gerenciamento dos seus fundos de investimento, sendo que desses 39,10% consideram os três critérios citados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES DOS MERCADOS FINANCEIRO E DE CAPITAIS – ANBIMA, 2016). Entre as classes de ativos nas quais se adotam os fatores ASG em maior escala, estão, em ordem decrescente: renda variável (42,00%), renda fixa corporativa (26,00%), *private equity* (22,00%), renda fixa soberana (6,00%) e outros (4,00%) (ANBIMA, 2016).

A inclusão das questões ASG nas decisões sobre investimentos mostra-se crescente nos principais mercados financeiros do mundo. No Brasil, mesmo que ainda recente comparativamente a outros mercados, como Estados Unidos e Europa, essa prática vem sendo gradativamente incorporada devido às próprias dinâmicas concorrenciais de mercado, que atuam globalmente. Isso evidencia um vasto campo de oportunidades para a canalização de recursos que visam a realização de ISR, beneficiando simultaneamente as empresas, os investidores, o meio ambiente e a sociedade.

Assim, ao se vislumbrar um processo de intensificação da importância conferida a projetos que privilegiam incursões para a redução de riscos decorrentes das mudanças climáticas no âmbito do setor financeiro, compreende-se que tal prática contribui de forma positiva para as discussões teóricas que gravitam em torno do desenvolvimento sustentável. Depreende-se que do ponto de vista das *práxis*, essas ações abarcam um potencial significativo no concernente à redução de danos ambientais, muitos deles irreversíveis e promotores de prejuízos socioeconômicos mais gerais.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

A pergunta que se coloca como crucial na presente pesquisa é a seguinte: Quais são as ações específicas implementadas no mercado financeiro brasileiro para estimular as empresas a atuarem de forma proativa em direção a uma economia de baixo carbono?

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Para responder à pergunta que fundamenta o problema de pesquisa, o presente estudo apresenta um objetivo geral e quatro objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral dessa pesquisa consiste em analisar o cenário atual da inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro, através de evidências empíricas baseadas no Índice Carbono Eficiente (ICO₂).

1.2.2 Objetivos específicos

- i. Analisar empiricamente os retornos diários do Índice Carbono Eficiente (ICO₂);
- ii. Analisar empiricamente os retornos diários do Índice Bovespa (Ibovespa);
- iii. Realizar uma análise comparativa entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa com base nas teorias financeiras pertinentes;
- iv. Apresentar as potencialidades do ICO₂ em contribuir para a sustentabilidade através do estímulo a uma economia de baixo carbono.

1.3 HIPÓTESES DA PESQUISA

Com base na investigação de caráter teórico realizada para promover a discussão da problemática que envolve a sustentabilidade e o mercado financeiro brasileiro, construíram-se três hipóteses a serem verificadas na presente pesquisa.

- i. O comportamento dos retornos diários do ICO_2 não é perfeitamente explicado pela abordagem tradicional das finanças, a saber a teoria moderna do portfólio e a hipótese de mercados eficientes;
- ii. Os retornos diários do ICO_2 são menos voláteis às dinâmicas do mercado do que os retornos diários do Ibovespa;
- iii. O ICO_2 é capaz de contribuir para reduzir as externalidades negativas decursivas do processo produtivo.

1.4 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A preocupação com a degradação do meio ambiente, motivada pelo risco eminente de uma catástrofe em escala global, tem conduzido diversas instituições, públicas e privadas, a envidarem esforços significativos em direção à sustentabilidade. Considera-se um desafio central a busca de formas de incentivo à adoção de práticas sustentáveis no universo corporativo, para que se obtenham resultados sólidos em termos de uma cooperação que atue no sentido de limitar as modificações verificadas de forma inconteste no sistema climático.

Isso, contudo, deve ser conduzido de modo que sejam conciliados os interesses econômicos do setor produtivo com as estratégias de sustentabilidade de cada país para não gerar maiores adversidades, como possíveis crises sistêmicas decursivas de ineficiências na alocação de recursos e até mesmo a ampliação das desigualdades socioeconômicas. Nesse âmbito, dada a inconsistência entre a promoção do crescimento econômico, a preservação do meio ambiente e a progressão social, que constituem os pilares do desenvolvimento sustentável, a iniciativa denominada economia verde, ou crescimento verde, vem alcançando destaque no cenário internacional.

Essa proposta busca coadunar as três dimensões supracitadas, incentivando a realização de atividades produtivas que privilegiem baixas emissões de GEE através de uma economia de baixo carbono. A sua concretização, entretanto, exige um alto desempenho da sustentabilidade

corporativa, uma vez que as empresas deverão ajustar as suas operações ao longo da cadeia de valor em conformidade às linhas de atuação mais gerais desse novo paradigma produtivo.

Nesse cenário, destaca-se o fato do Brasil ser signatário de diversos acordos multilaterais no esforço global de redução dos GEE (LEAL et. al, 2015). No entanto, as políticas ambientais adotadas em nível nacional até o presente momento não incluem o controle formal das emissões, como impostos ou comércio de cotas (LEAL et. al, 2015). Isso tem levado alguns setores do governo a discutir a implementação de mecanismos tributários para promover a economia de baixo carbono (LEAL et. al, 2015).

Uma forma alterativa e não impositiva de viabilizar a transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia baseada em baixo teor de carbono, implica gerar incentivos financeiros às empresas. O mercado financeiro, que tradicionalmente cumpre um papel relevante na concessão de recursos monetários para alavancar os processos produtivos e de serviços, vem de forma crescente mostrando o seu potencial em financiar e fomentar a sustentabilidade corporativa. De modo específico, as operações de alocação de recursos conduzidas pelo mercado de capitais possibilitam criar valor para as empresas e para os acionistas através da inclusão das questões ASG nos negócios.

Assim, criam-se oportunidades para a ampliação do capital das organizações e também dos investidores, tanto os institucionais como os privados, interessados em ativos relacionados às questões socioambientais (BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014). Com efeito, o desempenho dos mercados, dos fundos e dos índices de ISR, torna-se uma área de crescente importância devido ao aumento dos investimentos realizados em conformidade a critérios socialmente responsáveis (DAS; RAO, 2013; BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014).

Os ISR diferem do *mainstream* das finanças ao incorporarem elementos não financeiros nas decisões de investimento, como os fatores ambientais, sociais e de governança corporativa (YAN; FERRARO, 2017). Essa forma de investir, na qual a avaliação dos resultados não se circunscreve unicamente aos retornos de natureza financeira, contribui para reduzir os conflitos de interesse entre as dimensões do desenvolvimento sustentável ao vislumbrar uma mudança de paradigma produtivo.

A eficiência dos ISR tem sido objeto de numerosas pesquisas científicas (LULEWICZ-SAS; KILON, 2014). No entanto, o interesse por ISR requer uma melhor compreensão sobre os riscos e as compensações de retorno desses investimentos (SADORSKY, 2014). A literatura que incorpora os elementos da esfera financeira na análise ainda carece de estudos empíricos com maior relevância (BECCHETTI et al., 2012). Portanto, analisar critérios como risco, incerteza e retorno constitui um tema importante no âmbito de uma perspectiva teórico-prática.

Diante disso, acredita-se que tal incursão apresenta o potencial de auxiliar na tomada de decisão dos agentes econômicos que atuam nesse cenário.

A divulgação de informações sobre as atividades empresariais relevantes para o fenômeno da mudança climática, tem apresentado aumentos substanciais ao longo da última década (COTTER; NAJAH, 2013). Deve-se frisar que os investidores institucionais exercem uma elevada influência sobre a propalação de relatórios anuais que contemplam as questões relacionadas à sustentabilidade corporativa (COTTER; NAJAH, 2013). Assim, ao impulsionar essa conduta por parte das organizações, esse segmento de investidores tem estimulado a adoção de uma prática que os próprios reguladores nacionais não estavam alcançando sucesso em fomentar (COTTER; NAJAH, 2013). Isso contribui de modo positivo para alavancar o processo de mudança do comportamento corporativo, o qual é passível de se traduzir em benefícios de longo prazo para todas as partes envolvidas.

No mercado de ações, os investidores estão interessados na volatilidade dos preços dos ativos financeiros, que consiste na sua variância condicional (GUJARATI; PORTER, 2011). A importância atribuída a essa variável se deve ao fato de que o seu comportamento é capaz de resultar em significativas perdas ou ganhos e, portanto, em maior incerteza (GUJARATI; PORTER, 2011). Ressalta-se que em mercados voláteis, torna-se difícil até mesmo para as empresas aumentarem o seu capital através do processo de alocação de recursos conduzido pelo mercado de capitais (GUJARATI; PORTER, 2011).

Desse modo, a relevância da presente pesquisa consiste em abordar a situação atual da inserção das questões socioambientais no mercado financeiro brasileiro, através de uma análise empírica dos retornos diários do ICO_2 . Isso permitirá uma melhor compreensão sobre o desempenho do Índice enquanto uma forma de ISR que busca contribuir para a transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono, possivelmente reduzindo os impactos nocivos do aquecimento global.

Assim, considera-se importante modelar a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 uma vez que esse Índice visa prover o mercado com um indicador que tem a sua performance resultante de um portfólio balizado por fatores que incorporam as questões relacionadas às mudanças climáticas. Nesse processo, a sua comparação com o Ibovespa é um aspecto fundamental, visto que esse é considerado o mais importante indicativo do desempenho médio das cotações das ações negociadas na BM&FBOVESPA.

Esse procedimento possibilitaria desenvolver um conteúdo empírico formal para nortear as decisões de investidores interessados em realizar ISR no Brasil. Desse modo, pode-se contribuir tanto para a transparência do desempenho dos ISR no país como para a sua

consolidação, além de estimular a adoção de práticas sustentáveis pelas organizações. Outro ponto a ser destacado consiste na contribuição para a literatura sobre os ISR, a qual, conforme já mencionado, ainda carece de estudos empíricos robustos sobre essa modalidade de investimentos.

A relevância da presente pesquisa se traduz na possibilidade de mostrar que o mercado financeiro permite diminuir as externalidades negativas, contribuindo para mitigar o passivo ambiental decorrente das atividades produtivas implementadas e intensificadas a partir da Revolução Industrial. Compreende-se que há uma necessidade imediata em incentivar a descarbonização da economia enquanto uma forma de reduzir as emissões de GEE e assim limitar as mudanças pronunciadas no sistema climático. Enfatiza-se que o meio ambiente é considerado um fator condicionante do crescimento econômico (OLIVEIRA; PORTO JÚNIOR, 2007), por isso, torna-se importante encontrar alternativas para conciliar essas dimensões, mais a social, em um processo que não resulte em maiores conflitos entre elas.

Promover um cenário atrativo no qual corporações sejam motivadas a buscarem um alto desempenho da sua sustentabilidade corporativa, consiste em uma forma de incentivar a adoção de práticas sustentáveis pelas empresas. Acredita-se que essa ação pode ser facilitada através da criação de índices de sustentabilidade empresarial. Estes, promotores de uma melhora da reputação das organizações diante do mercado, contribuem para um processo de geração de valor econômico para elas e ainda contemplam as demandas de investidores interessados nas questões ASG.

A transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono, pode ser facilitada estimulando-se uma conduta proativa do setor produtivo em adotar práticas sustentáveis nas suas operações. Considera-se que esse processo abarca potencialidades de se traduzir no alcance de um bem maior, a alavancagem do desenvolvimento sustentável.

1.5 ESTRUTURA E APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa está estruturada em cinco capítulos, sendo o primeiro deles esta introdução. No segundo capítulo são apresentados os aspectos teórico-conceituais. No terceiro capítulo são elucidados os procedimentos metodológicos. No quarto capítulo são explicitados os resultados encontrados e a sua discussão. Finalmente, no quinto capítulo são expostas as considerações finais do estudo empreendido.

2 ASPECTOS TEÓRICO-CONCEITUAIS

No presente capítulo aborda-se a fundamentação teórica da pesquisa. São apresentados os conceitos de sustentabilidade, de desenvolvimento sustentável, de economia verde, de economia de baixo carbono, de sustentabilidade corporativa, de finanças sustentáveis, de investimentos socialmente responsáveis e de índices de sustentabilidade empresarial, além de uma breve explanação sobre a teoria moderna do portfólio e a hipótese de mercados eficientes. Assim, busca-se contemplar as linhas gerais e específicas na qual o estudo se enquadra, além de reunir elementos que sustentem a discussão empreendida quanto aos resultados encontrados.

2.1 SUSTENTABILIDADE

Embora tenha passado a ser consideravelmente difundido nas últimas décadas, o conceito de sustentabilidade, mesmo no século XXI, ainda enfrenta inúmeros desafios de implementação em decorrência da complexidade que envolve (SMITH, 2015). Com efeito, compreender e analisar a sua evolução pressupõe um exercício de difícil realização. Essa palavra, que vem sendo amplamente utilizada por diversas áreas do conhecimento, tem a sua origem atribuída à duas disciplinas consideradas científicas: a biologia e a economia (VEIGA, 2010; NASCIMENTO, 2012).

O significado de sustentabilidade com origem na biologia, através da ecologia, refere-se à capacidade de recuperação e de reprodução dos ecossistemas em face de agressões antrópicas (uso abusivo dos recursos naturais, desflorestamento, queimadas etc.) ou naturais (terremotos, tsunamis, fogo etc.) (NASCIMENTO, 2012). Sob a ótica da biologia, a sustentabilidade está associada a um equilíbrio ecossistêmico norteado pelo conceito de resiliência, em que se admite que um sistema é capaz de enfrentar distúrbios e de manter as suas funções e a sua estrutura, absorvendo choques, adequando-se a eles e até mesmo tirando benefícios para a sua adaptação e a sua reorganização (VEIGA, 2010). Ressalta-se que a resiliência assume um rigor científico, sendo considerada um dos principais vetores da sustentabilidade, isto é, um dos meios para a consecução desse fim (VEIGA, 2017).

O significado de sustentabilidade com origem na economia, como adjetivo do desenvolvimento, surge em resposta à percepção crescente ao longo do século XX de que o padrão de produção e de consumo em expansão no mundo, sobretudo no último quarto desse século, não tem possibilidade de perdurar (NASCIMENTO, 2012). Com base em tal argumento, ergue-se a noção de sustentabilidade sobre a compreensão da finitude dos recursos

naturais e da sua gradativa e perigosa depleção (NASCIMENTO, 2012). Sob a ótica da economia, o conceito de sustentabilidade é interpretado por perspectivas diferentes e divergentes, com destaque para a colisão entre a sustentabilidade fraca e a sustentabilidade forte (CAVALCANTI, 2010; VEIGA, 2010).

O ponto de partida para a compreensão do conteúdo das perspectivas sobre a sustentabilidade, que exprimem um desacordo entre a natureza conceitual e operacional do termo, está alicerçado na existência de diversas categorias de capital e no seu grau de substituíbilidade. Essas categorias, que norteiam a análise que relaciona a economia e o meio ambiente, estão sucintamente explicitadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Categorias de capital utilizadas no processo de conceituação da sustentabilidade

<p>Capital produzido (<i>Kp</i>)</p>	<p>Consiste no capital físico (o estoque de máquinas, de construções, de infraestrutura etc.) gerado pelo sistema econômico e que está disponível para a sociedade em um determinado momento do tempo. É o tipo de capital enfatizado pelos modelos neoclássicos de crescimento econômico.</p>
<p>Capital humano (<i>Kh</i>)</p>	<p>Está relacionado à capacitação e às habilidades de produção da força de trabalho da sociedade em um determinado momento do tempo. A sua ampliação requer investimentos em educação, em treinamento e em qualificação.</p>
<p>Capital social (<i>Ks</i>)</p>	<p>Inclui, em essência, a estrutura institucional da sociedade em um determinado momento do tempo. Presume que a eficácia da base institucional desempenha um papel central no processo de desenvolvimento de uma economia.</p>
<p>Capital natural (<i>Kn</i>)</p>	<p>Engloba os estoques de recursos energéticos e de outros recursos naturais aos quais se tem acesso em um determinado momento do tempo, além dos estados biofísicos (as condições climáticas, as características dos ecossistemas, a capacidade de regeneração dos sistemas naturais etc.) existentes no meio ambiente nesse mesmo instante.</p>

Fonte: Elaborado com base em Mueller (2005).

Nesse contexto, é importante destacar a contribuição do Prêmio Nobel de Economia de 1987, Robert Solow, para a compreensão do conceito de sustentabilidade. Segundo o autor, à

medida que uma economia se expande, torna-se possível substituir o capital natural por outras formas de capital, como o capital produzido e o capital humano (MUELLER, 2005). Com efeito, Solow defende que a sustentabilidade é alcançada a partir da conservação do estoque de capital total (K) da economia, que compreende o agregado de todas as categorias de capital (MUELLER, 2005). Supondo a mensurabilidade dessas categorias em unidades monetárias, tem-se que: $K = Kp + Kh + Ks + Kn$ (MUELLER, 2005).

Outro expoente importante para a compreensão do conceito de sustentabilidade é Georgescu-Roegen. O autor sustenta que a atividade econômica, inevitavelmente, promove consequências negativas sobre a natureza, principalmente para a disponibilidade energética (TAYRA, 2006). O desenvolvimento da produção, ao transformar recursos naturais em produtos que a sociedade valoriza, gera necessariamente algum tipo de resíduo, que não é novamente absorvido pelo processo produtivo (CECHIN; VEIGA, 2010). Portanto, a geração de resíduos pelo sistema econômico está no âmago da questão ambiental dos dias atuais, sendo decursiva do funcionamento de duas leis da termodinâmica: a lei da conservação da matéria e da energia e a lei da entropia (MUELLER, 2005).

Enquanto a primeira lei da termodinâmica afirma que a matéria não se destrói, e sim se transforma, a segunda lei da termodinâmica assegura que a utilização de recursos materiais, em especial os recursos energéticos fósseis, degrada a energia e causa perdas irreparáveis (TAYRA, 2006). A acumulação desses efeitos, em função da escala em que os materiais são utilizados no processo produtivo, *per se*, teria como resultados uma série de desajustes que impossibilitariam a recuperação do equilíbrio planetário natural (TAYRA, 2006).

A divergência de aceitação sobre o grau de substituíbilidade entre as categorias de capital e a possibilidade do desenvolvimento tecnológico resolver os problemas ambientais, são o cerne das discussões entre as diferentes perspectivas de sustentabilidade no âmbito da análise econômica. A colisão entre a sustentabilidade fraca e a sustentabilidade forte implica dois lados opostos e mutuamente excludentes, um prevalecente nas abordagens da economia ambiental neoclássica (sustentabilidade fraca) e outro vinculado aos pressupostos da economia ecológica (sustentabilidade forte). A sustentabilidade fraca fundamenta-se nas contribuições de Robert Solow para a economia do meio ambiente, enquanto a sustentabilidade forte baseia-se nas de Georgescu-Roegen, que influenciaram a economia ecológica e deram origem à bioeconomia.

Em uma perspectiva analítica, a economia ambiental neoclássica busca relacionar a sustentabilidade à uma medida de eficiência, enquanto a economia ecológica está focada em ponderações sobre as questões de incerteza, de ignorância e de irreversibilidade (TAYRA, 2006). Para a primeira, os recursos naturais não representam, no longo prazo, um limite absoluto

à expansão da economia (ROMEIRO, 2012). Para a segunda, sim, por isso se considera a economia como sendo um subsistema do meio ambiente (ROMEIRO, 2012). A razão de tal divergência, conforme anteriormente mencionado, está alicerçada nas diferentes percepções sobre o papel a ser desempenhado pela tecnologia no âmbito das soluções para a finitude dos recursos naturais e para a degradação do meio ambiente.

Segundo os defensores da sustentabilidade fraca, o capital total de uma economia tem possibilidade de crescer de forma quase que ilimitada, considerando-se uma perfeita substituíbilidade entre o capital produzido e o capital natural (GETZNER, 1999; HEDIGER, 1999; MUELLER, 2005; TAYRA, 2006; CAVALCANTI, 2010; VEIGA, 2010). Conforme essa concepção, uma vez que o capital natural se torne escasso ao longo do processo de expansão econômica, o preço relativo dos seus serviços aumentará, implicando a substituição do capital natural pelo capital produzido (MUELLER, 2005). Assim, mesmo que o crescimento econômico reduza significativamente o estoque de capital natural da sociedade, o crescimento ainda poderá ser mantido à medida que o capital produzido for sendo substituído pelo capital natural (MUELLER, 2005). A condição elementar que permite a ocorrência desse mecanismo requer um bom funcionamento dos mercados, sinalizando a necessidade da substituição, a qual é facilitada pelo desenvolvimento tecnológico (MUELLER, 2005).

Conforme a perspectiva da sustentabilidade fraca, o estoque de capital total de uma economia deve ser mantido constante ao longo do tempo (TAYRA, 2006). Nessa concepção, a elasticidade de substituição entre o capital natural e o capital produzido é igual ou maior do que a unidade, o que garante que uma redução do estoque de capital natural seja compensada por um aumento na mesma proporção do estoque de capital produzido (TAYRA, 2006). Essa dinâmica é beneficiada pelo advento da tecnologia, considerada como sendo um elemento capaz de resolver os problemas ambientais a partir da inteira substituíbilidade entre os fatores de produção, como florestas por fábricas (TAYRA, 2006). Depreende-se disso que os custos da degradação do meio ambiente podem ser contrabalançados por benefícios econômicos, de modo que o progresso tecnológico torna perfeitamente possível a reposição do capital natural pelo capital produzido (MIKHAILOVA, 2004; JACOBI; SINISGALLI, 2012).

Na abordagem da sustentabilidade fraca, os problemas ambientais são considerados como externalidades decorrentes do processo econômico, sendo passíveis de resolução através da correção das falhas de mercado via mecanismo de preços (CAVALCANTI, 2010). Isso acontece pelo fato de que uma parte significativa dos serviços ambientais são bens públicos (como o ar, a água etc.) e, portanto, não apresentam preços (ROMEIRO, 2012). A solução consiste em criar um *trade-off* para o agente econômico no qual ele vai procurar minimizar o

seu custo total, que resulta da soma do quanto vai gastar para controlar a poluição decorrente das suas atividades produtivas (custo de controle) com a quantia a ser gasta com o pagamento de taxas por poluir (custo da degradação) (ROMEIRO, 2012).

Posto em outras palavras, a sustentabilidade fornece uma estrutura para a incorporação de custos externos, como os ambientais e os sociais, geralmente não incluídos no mecanismo tradicional de preços de mercado (FRANCESCO; LEVY, 2008). Esses custos, quando associados a impactos negativos, são referidos como externalidades negativas, em que o custo social marginal supera o custo privado marginal (FRANCESCO; LEVY, 2008). A sustentabilidade tem, portanto, a capacidade de alterar o custo econômico, ou o custo de oportunidade, ao incorporar essas externalidades dentro do mecanismo de preços, sejam elas de natureza ambiental ou social (FRANCESCO; LEVY, 2008). O efeito disso conduz a um aumento do preço de mercado, resultando na redução da externalidade uma vez que o agente passa a pagar por ela (FRANCESCO; LEVY, 2008). Isso sugere que a utilização da sustentabilidade como fator de correção para as falhas de mercado proporciona um resultado socialmente ótimo devido a uma maior eficiência dos preços de mercado (FRANCESCO; LEVY, 2008).

Segundo os defensores da sustentabilidade forte, o capital produzido e o capital natural não são substitutos, ou seja, a sua substituíbilidade é considerada inexistente (TAYRA, 2006; CAVALCANTI, 2010). Essa perspectiva está baseada nas leis da termodinâmica e requer que certas propriedades do ambiente físico sejam sustentadas, tendo como norte o paradigma de que a economia consiste em um subsistema aberto do ecossistema global finito e não crescente (HEDIGER, 1999). Portanto, a condição elementar necessária para a garantia da sustentabilidade implica que o estoque de capital natural permaneça constante ao longo do tempo (TAYRA, 2006; VEIGA, 2010; JACOBI; SINISGALLI, 2012).

Alguns defensores da sustentabilidade forte admitem uma substituíbilidade limitada entre o capital produzido e o capital natural (MUELLER, 2005). Conforme essa visão, a substituição de capital natural por capital produzido é aceitável até certo ponto, de forma que um processo de crescimento acompanhado pela escassez relativa cada vez maior de capital natural, pode ser inviabilizado ao longo do tempo (MUELLER, 2005). A principal causa disso consiste na suposição de uma relação de complementariedade substancial entre o capital produzido e o capital natural, requerendo que uma quantidade adicional de produto real seja gerada na economia somente a partir de um aumento em ambas categorias de capital (MUELLER, 2005). Como resultado, uma expansão contínua do produto real da economia

demandará, inevitavelmente, a conservação do capital natural, ou o produto poderá deixar de crescer em um cenário de completa ausência desse fator (MUELLER, 2005).

A mensuração da sustentabilidade fraca é realizada com base em indicadores econômicos convencionais, passíveis de medição em unidades monetárias ou em pontos (MIKHAILOVA, 2004), como os preços dos insumos ambientais e a sua relação com as tecnologias futuras (GETZNER, 1999). No caso da sustentabilidade forte, os indicadores característicos são aferidos em unidades físicas, uma vez que por essa ótica as perdas ambientais não são compensadas por benefícios financeiros (MIKHAILOVA, 2004) e a substituíbilidade e as avaliações individuais de bens naturais enfrentam sérios problemas devido à natureza do bem, como as restrições informacionais (GETZNER, 1999).

De modo geral, a busca pela sustentabilidade pode ser associada à implementação de mudanças, sendo consideradas diferentes dimensões, com destaque para a ecológica, a econômica e a social (TAYRA, 2006). A consecução desse processo enfatiza a necessidade do estabelecimento de sistemas resilientes em relação à ecologia, à economia e à sociedade (ARNOLD, 2017). Uma avaliação adequada da sustentabilidade requer, portanto, medidas simultâneas da dimensão ambiental, do desempenho econômico e da qualidade de vida, ou bem-estar (VEIGA, 2010; ARAS, CROWTHER, 2013).

Embora as definições mais aceitas e difundidas de sustentabilidade ofereçam dimensões acessíveis, os domínios aplicáveis da atividade humana permanecem sujeitos a interpretações (RATIU; ANDERSON, 2015). Em uma perspectiva ampliada, considera-se que a sustentabilidade está vinculada à busca de um equilíbrio entre o uso atual e o futuro dos recursos (SMITH, 2015). A noção de sustentabilidade, portanto, privilegia a ideia de que a utilização dos recursos seja compatível com a sua conservação na medida em que os insumos necessários aos processos produtivos sejam capazes de sustentar o crescimento econômico que a sociedade moderna precisa sem causar maiores danos ambientais (TYRTANIA, 2016).

Devido às preocupações contemporâneas com relação ao futuro do planeta, as diferentes visões de sustentabilidade parecem coalescer em torno de uma máxima, a dependência dos sistemas humanos em sobreviver com base na preservação de recursos críticos que constituem os elementos essenciais para garantir a vida humana (RATIU; ANDERSON, 2015). Nesse direcionamento, o cerne da sustentabilidade reside na ideia de que as próximas gerações necessitam de tanta atenção quanto as atuais (VEIGA, 2017). Isso exige uma visão de mundo dinâmica e que seja norteadas por dois princípios básicos, o da transformação e o da adaptação, requerendo, para tanto, elevada consciência, sóbria prudência e ampla responsabilidade diante dos riscos e, sobretudo, das incertezas (VEIGA, 2017).

Esse novo paradigma constitui o mote que deu origem à concepção de desenvolvimento sustentável, no relatório intitulado *Nosso Futuro Comum*, produzido em um esforço conjunto por diversos pesquisadores durante a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), e publicado em 1988. A obra *Nosso Futuro Comum*, também conhecida como *Relatório Brundtland*, traz a público os pilares em que se sustenta o conceito de desenvolvimento sustentável. Tal definição consiste em uma proposta para coadunar a preservação ambiental, a progressão econômica e a equidade social. O seu surgimento se dá em resposta à constatação de que o modelo econômico vigente exhibe sinais evidentes de esgotamento, como os desequilíbrios ambientais, as crises econômicas e as desigualdades sociais.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Na sua concepção original, o desenvolvimento sustentável é definido como um modelo de desenvolvimento no qual se consegue satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras atenderem também às suas (CMMAD, 1988). Com a emergência da problemática do aquecimento global na década de 1990, o debate sobre o desenvolvimento sustentável passa a ser norteado por dois aspectos fundamentais, a saber: o problema do tratamento do risco ambiental e, novamente, a questão do *trade-off* entre o crescimento econômico e o meio ambiente (ROMEIRO, 2012). Essa discussão coloca em evidência as diferentes perspectivas sobre os rumos a serem seguidos para o alcance do desenvolvimento sustentável, não mais limitado às esferas econômica e social, mas agora estendido também à ambiental.

Uma vez que o desenvolvimento sustentável abarca três dimensões, o seu processo de conceituação torna-se complexo e pressupõe a necessidade de contemplar as esferas apontadas pela literatura como sendo os pilares que dão sustentação a esse conceito. Contudo, antes de explicitar as três dimensões do desenvolvimento sustentável, convém separar e compreender os seus dois componentes de formação, o substantivo desenvolvimento e o adjetivo sustentável. Isso possibilita não incorrer em uma utilização indiscriminada e confusa do termo como vem acontecendo em diversos meios desde a sua popularização na década de 1980.

O substantivo desenvolvimento tem a ver, essencialmente, com a possibilidade das pessoas viverem o tipo de vida que escolherem e com a provisão dos instrumentos e das oportunidades para fazerem as suas escolhas (VEIGA, 2017). Em função disso, precisa ser definido pela ênfase nos fins e não nos meios que mais têm contribuído para o seu alcance: o

crescimento econômico dos quase doze milênios, ou a generalização do crescimento intensivo com início há menos de dois séculos (VEIGA, 2017). Destaca-se que tratar crescimento e desenvolvimento como sinônimos não condiz com a atual realidade social, uma vez que o crescimento se refere basicamente à aumentos de produtividade, ou seja, está diretamente associado às mudanças na relação entre os fatores de produção capital e trabalho, enquanto o desenvolvimento vai além disso, pois requer melhorias significativas na qualidade de vida da população (KÜHN, 2015).

Portanto, crescimento e desenvolvimento são dois processos sociais distintos, sendo o crescimento um meio necessário para o alcance do desenvolvimento, o fim. No que concerne ao adjetivo sustentável para qualificar o desenvolvimento, esse exprime a possibilidade e a esperança de que a humanidade é sim capaz de se relacionar com a biosfera de modo a evitar os colapsos prognosticados desde a década de 1970 (VEIGA, 2014; VEIGA 2017). De forma simples e resumida, para ser sustentável é necessário que o desenvolvimento seja, ao mesmo tempo, economicamente sustentado (ou eficiente), socialmente desejável (ou incluyente) e ecologicamente prudente (ou equilibrado) (ROMEIRO, 2012).

Convém ainda destacar um ponto fundamental no elo entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, a noção de intergeracionalidade. Esse componente supõe que cada geração deve ser capaz de atingir o mesmo grau de bem-estar que as demais, dispondo, para tanto, de oportunidades iguais (DINIZ; BERMAN, 2012). A partir da inserção desse elemento, o conceito de desenvolvimento sustentável tem sido apontado como uma evolução importante em relação à antiga concepção de desenvolvimento ao incorporar a necessidade de igualdade intergeracional (DINIZ; BERMAN, 2012). Privilegiar esse aspecto implica promover ações que visem a utilização racional dos recursos naturais no presente para que no futuro exista o provimento dos fatores indispensáveis para o alcance de uma qualidade de vida em níveis minimamente idênticos aos de hoje.

Posto dessa forma, o desenvolvimento sustentável incorpora a dimensão ambiental, a econômica e a social guiadas pela noção de intergeracionalidade, uma vez que está presente na sua definição uma evidente preocupação com o futuro do planeta e das gerações seguintes. Além disso, contempla os conceitos-chave de necessidade, de limitação e de equidade (HEDIGER, 1999). Portanto, considerando essas diferentes esferas, torna-se imprescindível abordar aspectos ambientais, econômicos e sociais para que se possa garantir a sustentabilidade e alcançar o desenvolvimento sustentável (ARAS; CROWTHER, 2013). O Quadro 2 explicita, resumidamente, cada uma das dimensões do desenvolvimento sustentável.

Quadro 2 – Dimensões do desenvolvimento sustentável

Dimensão ambiental	Essa dimensão do desenvolvimento sustentável supõe que o modelo de produção e de consumo seja compatível com a base material em que se assenta a economia, enquanto um subsistema do meio natural. Isso implica produzir e consumir de forma a se garantir que os ecossistemas possam manter a sua capacidade de resiliência.
Dimensão econômica	Essa dimensão do desenvolvimento sustentável supõe o aumento da eficiência da produção e do consumo com economia crescente de recursos naturais, destacando-se os recursos permissivos (como as fontes fósseis de energia) e os recursos delicados e mal distribuídos (como a água e os minerais). Isso implica o que alguns denominam como ecoeficiência, que presume uma contínua inovação tecnológica que oriente a humanidade a sair do ciclo fóssil de energia (carvão, petróleo e gás) e a ampliar a desmaterialização da economia.
Dimensão social	Essa dimensão do desenvolvimento sustentável supõe que em uma sociedade sustentável todos os cidadãos tenham o mínimo necessário para uma vida digna e que nenhum indivíduo absorva bens, recursos naturais e energéticos que sejam prejudiciais a outros. Isso implica erradicar a pobreza e definir um padrão de desigualdade aceitável, delimitando limites mínimos e máximos de acesso a bens materiais, ou seja, implantar a justiça social.

Fonte: Elaborado com base em Nascimento (2012).

O desenvolvimento sustentável consiste em um desafio global que exige a visualização da conservação e da mudança (HEDIGER, 1999). Esse conceito normativo, no entanto, envolve conflitos entre diversos objetivos do sistema econômico, porém, passíveis de serem resolvidos de forma otimizada através de um processo adaptativo de *trade-offs* (HEDIGER, 1999). Ressalta-se que isso não pode ser abordado como um princípio de valor econômico de sustentabilidade fraca ou como um princípio físico de sustentabilidade forte (HEDIGER, 1999). Pelo contrário, é necessária uma abordagem integrada baseada em uma perspectiva de desenvolvimento ecológico-econômico norteada pela preservação do meio ambiente enquanto um fator de suporte vital (HEDIGER, 1999).

O desenvolvimento sustentável se concebe como um processo socioeconômico no qual: i) há uma redução da utilização de matéria e de energia (depleção); ii) minimizam-se os impactos ambientais (lançamento de dejetos); iii) maximiza-se o bem-estar ou a utilidade social sem ameaça de retrocessos; e iv) atinge-se uma situação de eficiência máxima no uso dos recursos (CAVALCANTI, 2012). O principal desafio, contudo, permanece sendo a dificuldade de conciliar suas intrincadas dimensões sem que uma prevaleça sobre a outra. Isso porque o conceito de desenvolvimento sustentável ainda mantém uma íntima relação com o de crescimento econômico, associado à noção de progresso e/ou incremento da capacidade produtiva. Assim, promover uma interconexão entre a esfera econômica, a ambiental e a social tem se mostrado um exercício complexo, resultando no surgimento de obstáculos à operacionalização do conceito de desenvolvimento sustentável.

A discussão não se resume mais apenas em como traduzir a progressão econômica em um potencial instrumento para o alcance da equidade social, visando reduzir as desigualdades e a pobreza. Mas, ao inserir fatores ambientais, torna-se imprescindível considerar também os limites impostos pela natureza ao processo de crescimento econômico, tanto pela ótica da produção quanto pela ótica do consumo. E isso não pode ser tratado como uma simples questão passível de resolução através da tecnologia, uma vez que os recursos naturais são elementos finitos. Portanto, é importante que o conjunto de limitações naturais, tecnológicas e também institucionais, seja contemplado nos debates que visam coadunar as dimensões do desenvolvimento sustentável.

As diferentes interfaces do desenvolvimento sustentável, assim como as suas complexas relações, tornam cada vez mais complicada a interconexão da tripla linha de fundo em que se fundamenta esse conceito. Como resultado, uma abordagem recente tem sido amplamente difundida em diversos meios. Essa iniciativa, denominada economia verde, surge em resposta às incoerências apontadas como entraves para o alcance do desenvolvimento sustentável, objetivando conciliar as suas dimensões com ênfase na inclusão social, na eficiência no uso dos recursos naturais e na promoção de uma economia com baixas emissões de carbono.

2.3 ECONOMIA VERDE

O crescimento econômico tem sido baseado na utilização insustentável de recursos não renováveis, na redução da biodiversidade, na concentração de dióxido de carbono na atmosfera e na acidificação dos oceanos, além de intensificar as desigualdades sociais (MARTINE; ALVES, 2015). O atual momento histórico, marcado por profundas crises no âmbito da

ecologia, da economia e da sociedade, exige repensar tal situação à luz dos limites impostos pela própria natureza (MARTINE; ALVES, 2015).

O tripé da sustentabilidade tem sido considerado como um trilema, tornando-se cada vez mais difícil conciliar a preservação ambiental, o crescimento econômico e o bem-estar social, de modo que está aumentando a cisão entre os polos desses três lemas (MARTINE; ALVES, 2015). Meio a isso, tem-se destacado uma proposta que reúne um conjunto de instrumentos para o alcance do desenvolvimento sustentável, a qual privilegia a descarbonização e a desmaterialização da economia, agora sob a roupagem da economia verde (NASCIMENTO, 2012). Essa temática recente abre espaço para um debate sobre os padrões de produção e de consumo pautado na necessidade de rever o modelo de desenvolvimento ainda predominante (JACOBI; SINISGALLI, 2012).

A economia verde consiste em um modelo econômico capaz de trazer como resultados a melhoria do bem-estar da humanidade e a igualdade social, ao mesmo tempo em que reduz significativamente os riscos ambientais e a escassez ecológica (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA, 2011). Está fundamentada em baixas emissões de carbono, eficiência na utilização de recursos e inclusão social (PNUMA, 2011; ALMEIDA, 2012; DINIZ; BERMANN, 2012; JACOBI; SINISGALLI, 2012).

De forma específica, na economia verde, o crescimento dos níveis de renda e de emprego deve ser impulsionado por investimentos públicos e privados que busquem reduzir as emissões de carbono e a poluição decursivas do processo produtivo, aumentar a eficiência energética e de recursos e impedir a perda da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (PNUMA, 2011; CECHIN; PACINI, 2012; BONELLI; LAZZARESCHI, 2015). Nesse âmbito, defende-se a necessidade de que sejam adotados parâmetros de sustentabilidade que levem em consideração o risco sobre o meio ambiente, atribuindo-se aos avanços na geração de tecnologias potencialidades para o alcance de melhorias ambientais, econômicas e sociais (ROMEIRO, 2012).

Essa proposta, um dos principais temas da Rio+20, consiste em um sistema econômico no qual as atividades em todos os setores (investimento, produção, comercialização, distribuição e consumo) respeitem os limites dos ecossistemas e preservem o meio ambiente (BONELLI; LAZZARESCHI, 2015). O intuito é estimular uma produção de bens e de serviços capaz de resultar em melhorias ambientais, ou seja, que apresente um impacto ambiental positivo (CECHIN; PACINI, 2012).

O meio ambiente não é mais visto como sendo um fator restritivo em uma economia, mas sim como uma força que gera novas oportunidades econômicas (CECHIN; PACINI, 2012;

BONELLI; LAZZARESCHI, 2015). A dinamização do sistema econômico passa a ser realizada com base na expansão de setores de baixo impacto ambiental (CECHIN; PACINI, 2012).

Um dos principais desafios consiste em conciliar as concorrentes aspirações de desenvolvimento de países ricos e pobres em uma economia mundial que enfrenta mudanças climáticas crescentes, insegurança energética e degradação dos ecossistemas (CECHIN; PACINI, 2012). A economia verde busca a harmonização desses interesses reduzindo a correlação entre o crescimento econômico e a liquidação dos ativos ambientais, de forma que se permita que os países ricos e os pobres continuem crescendo e se desenvolvendo (CECHIN; PACINI, 2012).

Ressalta-se que alguns autores dessa linha argumentam que a evidência empírica revela não existir um dilema entre a sustentabilidade e o crescimento econômico, assim como que a transição para uma economia verde pode ser feita tanto por países ricos quanto por países pobres (DINIZ; BERMANN, 2012). A primeira suposição é facilmente contestada mostrando-se, através da regularidade conhecida como Curva Ambiental de Kuznets, que esse impasse está sim presente nas primeiras etapas do desenvolvimento, as quais são seguidas por um padrão de crescimento com redução das emissões de poluentes (DINIZ; BERMANN, 2012).

Para uma efetiva eliminação dos *trade-offs* entre o crescimento econômico e os ganhos em qualidade ambiental e inclusão social, pretende-se selecionar alguns setores-chave a serem priorizados pelos investimentos públicos e privados, além de áreas estratégicas para o incentivo à difusão de tecnologias limpas (ALMEIDA, 2012). Essa iniciativa deve atuar em consonância a determinados critérios socioambientais pré-estabelecidos (ALMEIDA, 2012).

No entanto, é preciso observar que não há garantias de que aumentos de eficiência na utilização de recursos resultem na sua efetiva conservação e que existem limites para a substituição entre os setores de uma economia em termos reais (BONELLI; LAZZARESCHI, 2015). Isso implica a necessidade do uso de tecnologias verdes para a diminuição do impacto ambiental (BONELLI; LAZZARESCHI, 2015). Estas, sob as quais há uma considerável expectativa, são apontadas como sendo triplamente ganhadoras, ou seja, ambientalmente amigáveis, socialmente adequadas e economicamente eficientes (ROMEIRO, 2012).

A revolução tecnológica vislumbrada pela economia verde deve ocorrer em um curto período de tempo dada a pressão sobre os ecossistemas, com os governos desempenhando um papel central na produção e na difusão de tecnologias em razão das limitações do mecanismo de mercado em conduzir esse processo (ROMEIRO, 2012). Além disso, implica a necessidade de cooperação internacional uma vez que os principais problemas ambientais são de

abrangência global (ROMEIRO, 2012). Busca-se, assim, estimular um progresso tecnológico de larga escala através de parcerias público-privadas, mas com uma defesa enfática do ativismo das políticas públicas, sobretudo as de incentivo à inovação, para a indução das modificações desejadas (ALMEIDA, 2012).

Uma característica fundamental da economia verde é a criação dos chamados empregos verdes, que representam uma forma interventiva de impulsionar novos postos de trabalho nos mercados em que estão sendo inseridos (PAULI et al., 2017). Além disso, possibilitam que os trabalhadores tenham maior liberdade, remuneração equitativa, segurança no exercício das suas atividades e proteção social (GALLO et al., 2012).

Nesse âmbito, a atuação da esfera governamental deve ser direcionada à promoção e ao incentivo adequado (GALLO et al., 2012; PAULI et al., 2017). Isso pressupõe a utilização de instrumentos econômicos, de normas, de estímulo à inovação, de difusão tecnológica, de políticas distributivas e voluntárias e de iniciativas que permitam canalizar investimentos públicos e privados para setores específicos no intuito de aumentar a sua eficácia e a sua equidade (GALLO et al., 2012). Assim, enfatiza-se que a alavancagem do desenvolvimento sustentável requer uma coordenação de esforços para a geração de empregos verdes, de modo que o meio ambiente e a sociedade sejam protegidos em um processo de melhoria contínua (BONELLI; LAZZARESCHI, 2015).

A economia verde, para diversos setores produtivos, significa implementar processos orientados para a produtividade e para a eficiência no consumo energético e de recursos em todas as etapas da cadeia produtiva, incluindo o uso de matérias primas, a meia vida dos produtos e os métodos de descarte e de reciclagem (MOZZER, 2011). A transição para esse modelo econômico requer mudanças nos padrões de utilização de combustíveis fósseis, principalmente com base na adoção de novas fontes de energia (MOZZER, 2011).

Para o universo empresarial, de forma específica, a economia verde representa uma possibilidade para aperfeiçoar o desempenho da sustentabilidade corporativa (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016). Isso pode ser alcançado a partir da redução do consumo de energia nas empresas e da diminuição das emissões de carbono, minimizando a degradação ambiental causada pelos processos produtivos (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016). A contrapartida implica melhorias significativas na performance ambiental de todo o sistema econômico, conforme for crescendo a quantidade de corporações a assumirem compromissos com o crescimento verde (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016).

A economia verde tem sido utilizada pelas organizações para fazer frente aos desafios ambientais atuais, sobretudo através da conservação da energia e da sua geração renovável, da

redução da poluição, do tratamento adequado dos resíduos e da utilização eficiente dos recursos (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016). Essa iniciativa representa uma oportunidade concreta para melhorar a qualidade de vida das pessoas, diminuir a pobreza, gerar empregos dignos, promover investimentos sustentáveis e aumentar a competitividade empresarial, beneficiando, assim, a sustentabilidade corporativa através de fatores econômicos (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016).

A adesão das empresas à economia verde permite minimizar os efeitos negativos dos processos produtivos sobre o meio ambiente, proporcionando um lugar seguro para os funcionários e os consumidores (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016). Entre as práticas mais difundidas estão a reciclagem de materiais, o abastecimento de energia renovável e a redução de emissões (SAUFI; DAUD; HASSAN, 2016). Nesse cenário, um conceito fundamental é o de economia de baixo carbono, que visa impulsionar a sustentabilidade em diversos setores e combater a degradação ambiental.

2.4 ECONOMIA DE BAIXO CARBONO

O conceito de economia de baixo carbono tem a sua origem no ano de 2003, com o documento oficial do governo inglês intitulado “*Our energy future: create low-carbon economy – Nosso futuro energético: criando uma economia de baixo carbono*” (XIAOWEI; XING, 2011; HUI et al., 2012; XIE, 2014; DUAN et al., 2016). A sua definição implica um modelo econômico baseado em baixo consumo de energia, baixa poluição e baixa emissão de GEE, em que o objetivo consiste em retardar as mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável (XIAOWEI; XING, 2011; XIN; YUDING; JIANZHONG, 2011; HUI et al., 2012; XIE, 2014; DUAN et al., 2016).

Segundo Dou (2015), do ponto de vista das literaturas e pesquisas existentes sobre a economia de baixo carbono, a maior parte dos estudos se concentra, principalmente, em três direcionamentos:

- i. Criar um sistema modelo de política técnica e econômica e verificar o seu impacto sobre as emissões mundiais de GEE. O objetivo fundamenta-se em realizar análises de simulação e de predição através desse sistema, com o intuito de explorar os efeitos de diferentes políticas tecnológicas sobre as emissões de GEE. Isso permitiria prover uma base teórica para a futura tomada de decisões no âmbito governamental;
- ii. Empreender pesquisas sobre ferramentas políticas que envolvam a análise de custos e de efeitos econômicos na redução das emissões de carbono. O objetivo consiste em encontrar novos métodos e instrumentos de mitigação. Isso contribuiria para identificar

os custos de implementação de diferentes políticas de emissões, assim como para realizar avaliações do impacto econômico e do potencial de redução dos problemas ambientais;

- iii. Explorar a pesquisa do mecanismo de desenvolvimento limpo e a negociação de direitos de emissões de carbono. O objetivo reside em projetar uma nova estrutura internacional de cooperação ambiental, capaz de auxiliar positivamente no combate às mudanças climáticas. Isso possibilitaria implementar ações estratégicas nas formas de alocação dos direitos de emissões de carbono e do respectivo sistema de comércio de emissões.

A essência da economia de baixo carbono fundamenta-se na utilização eficiente dos recursos energéticos, buscando alavancar o crescimento verde (XIAOWEI; XING, 2011). A inovação tecnológica assume um papel central nesse processo, atuando na redução das emissões de GEE e possibilitando modernizar a estrutura industrial através de mudanças nos padrões de produção e de consumo (XIAOWEI; XING, 2011). Espera-se que isso conduza a um acréscimo líquido de oportunidades de trabalho, mesmo que às custas de perdas de alguns postos em determinados setores, compensadas por aumentos em outros, sobretudo aqueles vinculados à economia verde, os chamados empregos verdes (BONELLI; LAZZARESCHI, 2015).

Assim, depreende-se que a economia de baixo carbono busca implementar padrões econômicos, tecnológicos e sociais capazes de promover estruturas concretas de produção e de consumo que permitam alavancar o desenvolvimento sustentável (XIN; YUDING; JIANZHONG, 2011; DUAN et al., 2016). Ela envolve uma ampla gama de setores e de campos de gestão, viabilizando uma maior qualidade de vida para os indivíduos ao mesmo tempo em que cria oportunidades de negócios e de empregos através do estímulo à elaboração e à difusão de tecnologias avançadas (XIN; YUDING; JIANZHONG, 2011; DUAN et al., 2016).

Em síntese, a economia de baixo carbono caracteriza-se como um modelo ecológico de desenvolvimento ecoeconômico, no qual se preza pelo uso limpo e eficiente da energia, reduzindo-se a poluição e as emissões de GEE decorrentes dos processos de produção e de consumo (XIE, 2014). Isso será possível através do aperfeiçoamento de tecnologias avançadas capazes de ajustar a estrutura industrial e o *design* inovador do sistema, conduzindo à mitigação das mudanças climáticas (XIE, 2014).

Na medida em que o combate internacional às alterações climáticas impulsiona a transição para uma economia com baixa emissão de GEE, exige-se de forma crescente a adoção de tecnologias de baixo teor de carbono pelas empresas (PAULI et al., 2017). Nesse cenário, as organizações devem estar preparadas para atuarem em um ambiente com menor intensidade na utilização de combustíveis fósseis (JABBOUR; JABBOUR, 2014). Isso implica introduzir nas

suas operações de planejamento, de execução e de controle do processo produtivo, decisões que orientem a sua performance em uma economia de baixo carbono para a obtenção de vantagens competitivas sustentáveis, requerendo um alto desempenho em sustentabilidade corporativa (JABBOUR; JABBOUR, 2014).

As empresas deverão estar preparadas para a implementação e o gerenciamento de operações de baixo carbono, principalmente no que se refere ao desenvolvimento de produtos, aos processos produtivos e às atividades logísticas (BÖTTCHER; MÜLLER, 2015). Isso requer uma atuação ativa, eficiente e eficaz da sustentabilidade corporativa enquanto uma ferramenta capaz de integrar os interesses econômicos das organizações e as suas responsabilidades nas esferas ambiental e social.

2.5 SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA

Desde a difusão do conceito de desenvolvimento sustentável na década de 1980, tem-se observado uma série de implicações para os diversos segmentos do setor produtivo, requerendo a adoção de uma nova conduta por parte das empresas, cada vez mais cobradas em relação aos impactos das suas atividades sobre o meio ambiente e a sociedade. Como resultado, é crescente o número de organizações que têm buscado implementar práticas sustentáveis nas suas operações. Essa mudança de realidade decorre da exigência, por alguns grupos da sociedade, de uma maior responsabilidade das corporações para com as externalidades provocadas pelos seus processos de produção. Isso fez emergir o conceito de sustentabilidade corporativa, o qual pretende evidenciar a preocupação do universo empresarial com a degradação do meio ambiente e com a desigualdade social, além do crescimento econômico.

O interesse das empresas pelas questões de sustentabilidade está relacionado ao fato de que os *stakeholders* exercem uma pressão cada vez maior para que estas se voltem para os fatores ambientais e sociais (GARCIA et al., 2016). Esses agentes esperam por uma conduta ética e responsável das corporações no gerenciamento dos seus negócios, no sentido de que sejam contempladas as preocupações com o meio ambiente e com a sociedade, como as alterações climáticas e a garantia dos direitos humanos (MCPHEE, 2014). Com isso, as demandas socioambientais passaram a integrar o planejamento corporativo e a influenciar o posicionamento estratégico das organizações em decorrência da compreensão sobre as consequências de um dano ecológico em escala global (THOMAS; CALLAN, 2010).

A percepção de que as organizações são agentes transformadores em um processo que busca satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações

futuras atenderem às suas, representa uma mudança de paradigma na cultura organizacional. Isso está relacionado ao fato de se reconhecer que as empresas têm uma função social que transcende o objetivo de criar benefícios apenas para os seus acionistas, passando a incorporar todas as partes interessadas como destinatárias das suas ações (BLÁZQUEZ; PERETTI, 2012). Com efeito, identificar e incluir as demandas e as expectativas dos *stakeholders* torna-se uma ferramenta altamente importante nesse contexto, uma vez que influencia tanto na seleção da estratégia de sustentabilidade corporativa quanto na sua implementação (ENGERT; BAUMGARTNER, 2016).

Duas razões principais são apontadas como fatores que motivam as empresas a empreenderem práticas sustentáveis: i) a legislação, que tem sido constantemente modificada para viabilizar o desenvolvimento sustentável nos países; e ii) o interesse em fazer negócios no sentido de ser sustentável (ZAMCOPÉ; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). Nesse cenário, torna-se importante para as empresas estruturar e reduzir a incerteza e assim criar consistência para promover condições de estabilidade no mercado (ENGERT; RAUTER; BAUMGARTNER, 2016). A integração da sustentabilidade corporativa no gerenciamento estratégico consiste em uma ferramenta capaz de auxiliar no enfrentamento dos desafios que coexistem no ambiente competitivo organizacional (ENGERT; RAUTER; BAUMGARTNER, 2016).

A sustentabilidade corporativa insere-se nas discussões tradicionais da economia sob uma perspectiva ecológico-sistêmica, em que se aborda a questão da criação de valor econômico pelas empresas com foco em aspectos ambientais e em preocupações sociais (VILDÅSEN; KEITSCH; FET, 2017). Esse conceito surge como uma forma de trazer coerência entre a ética, a responsabilidade social corporativa e o desenvolvimento sustentável no campo dos negócios (POLANCO; RAMÍREZ; OROZCO, 2016). Nessa perspectiva, defende-se que as organizações devem encontrar formas de atuarem no mercado mudando o impacto das suas operações, produtos, serviços e atividades sobre o meio ambiente, a sociedade e o cenário econômico (BLÁZQUEZ; PERETTI, 2012).

O principal objetivo da sustentabilidade corporativa consiste em combinar as preocupações ambientais, econômicas e sociais dentro de uma estratégia de negócios coerente, em que são realizados esforços para o alcance de uma economia e sociedade mais sustentáveis (SCHNEIDER; MEINS, 2012). Assim, esse conceito exprime como as organizações são capazes de contribuir para a consecução do desenvolvimento sustentável (VILDÅSEN; KEITSCH; FET, 2017). Parte-se da premissa de que a empresa individual, a comunidade empresarial, a sociedade e a natureza, podem ser amplamente beneficiadas por um comportamento corporativo mais sustentável (BAUMGARTNER; RAUTER; 2017).

A principal razão para escolher uma abordagem de sustentabilidade consiste em reduzir os impactos ambientais e sociais negativos das atividades corporativas, ao mesmo tempo em que se beneficia o desempenho econômico da corporação (BAUMGARTNER; RAUTER; 2017). As restrições ambientais, sociais e econômicas não são simplesmente conceitos analíticos, mas representam *drivers* que uma empresa pode utilizar para alinhar o seu modelo de negócios à sua estratégia competitiva (LLORET, 2016). Os ajustes de curto prazo requeridos para atender a essas limitações, embora onerosos sob uma perspectiva financeira, são diferenciais em potencial que, a médio e longo prazo, permitem aumentar a competitividade das organizações (LLORET, 2016).

A sustentabilidade corporativa pode ser considerada como sendo um termo socialmente construído (LOZANO; CARPENTER; HUISINGH, 2015). Em uma definição ampla, refere-se às atividades empresariais que incluem preocupações com o meio ambiente e com a sociedade nas operações comerciais e nas interações com os grupos de interesse das empresas (ZAMCOPÉ; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012). Está associada também à resiliência das organizações em um cenário em rápida mudança e à sua capacidade de superar as adversidades de recessões econômicas a partir de uma perspectiva de longo prazo (SOLER-DOMÍNGUEZ; MATAILLÍN-SÁEZ; 2016).

Isso pressupõe um esforço no gerenciamento dos negócios de forma que se alcance o sucesso de longo prazo das empresas, obtido através de sinergias decorrentes do foco nas dimensões ambiental, econômica e social (MARKOVÁ; LESNÍKOVÁ, 2015). Intrínseco a esse processo, há uma mudança de paradigma produtivo na qual se visa atender às necessidades de todas as partes interessadas, com base em uma performance economicamente viável, ambientalmente prudente e socialmente justa das organizações.

O conceito de sustentabilidade corporativa está focado principalmente no desempenho do negócio no longo prazo, de modo que a empresa observe não apenas a rentabilidade, mas também o progresso e o resultado das suas atividades em relação à comunidade e ao meio ambiente (MARKOVÁ; LESNÍKOVÁ, 2015). Isso significa que a sustentabilidade monitora a viabilidade das organizações em um amplo horizonte de tempo em termos do desenvolvimento sustentável (MARKOVÁ; LESNÍKOVÁ, 2015). Essa dinâmica apresenta repercussões importantes sobre o posicionamento estratégico organizacional (CRISTÓFALO et al., 2016).

Um princípio amplamente aceito e difundido na literatura, enfatiza que a sustentabilidade corporativa está associada ao desempenho presente e futuro das empresas (POLANCO; RAMÍREZ; OROZCO, 2016). Evidencia-se a importância da ênfase no longo prazo, pois sustentabilidade implica continuidade e, além disso, a obtenção de vantagem

competitiva sustentável requer a permanência das estratégias de sustentabilidade mesmo diante das restrições impostas pelos sistemas ambiental, econômico e social (LLORET, 2016).

A sustentabilidade corporativa abrange as atividades organizacionais que buscam contribuir para o alcance de um equilíbrio com foco nas dimensões ambiental, econômica e social e em suas inter-relações ao longo do tempo, abordando-se também o sistema da empresa e os seus *stakeholders* (LOZANO, 2012). Nesse âmbito, a sustentabilidade é concebida sob três perspectivas diferentes: i) como uma questão de conformidade, normalmente relacionada a algo que deve ser feito de acordo com requisitos legais ou de mercado; ii) como um custo a ser minimizado, de modo que se gaste a quantia mínima necessária; e iii) como uma possibilidade de diferencial competitivo, capaz de permitir que as organizações obtenham vantagens competitivas frente à concorrência (CRISTÓFALO et al., 2016).

A sustentabilidade corporativa está amparada no que a literatura especializada chama de *triple bottom line* (TBL), a tripla linha de fundo relacionada às três dimensões do desenvolvimento sustentável (GARCIA et al., 2016). Sob essa ótica, enfatiza-se que uma empresa sustentável deve levar em consideração as inter-relações existentes entre os fatores ambientais, econômicos e sociais em um plano de igualdade, isto é, sem atribuir um grau de importância diferente a cada um deles (BLÁZQUEZ; PERETTI, 2012; AMINI; BIENSTOCK, 2014; MORIOKA; CARVALHO, 2016).

A inserção dessas questões nas metas corporativas a médio e longo prazo exige o alcance de um equilíbrio cuidadoso entre as necessidades dos *stakeholders* internos e externos, condição fundamental para manter e/ou aprimorar o desempenho da sustentabilidade corporativa (BAUMGARTNER; RAUTER; 2017). Um gerenciamento adequado e integrado dessas dimensões permite equilibrar a prosperidade econômica de uma organização com o progresso ambiental e com a equidade social (MCPHEE, 2014).

Segundo a abordagem do TBL, o sucesso definitivo de uma empresa não é resultado apenas do seu desempenho na esfera financeira, mas também da sua performance ambiental e social, em que são considerados aspectos como a emissão de poluentes, a geração de resíduos, a quantidade de recursos despendidos, entre outros capazes de afetar a comunidade envolvida (CRISTÓFALO et al., 2016). Dessa forma, a organização é avaliada com base em três modalidades de valor produzido, o econômico, o ambiental e o social (BLÁZQUEZ; PERETTI, 2012), apontados como sendo as principais medidas da qualidade da sustentabilidade corporativa, uma vez que a ênfase do processo é dada aos seus efeitos de longo prazo (AMINI; BIENSTOCK, 2014; NOBANEE; ELLILI, 2016).

A abordagem do TBL implica classificar a sustentabilidade no nível empresarial de acordo com três pilares, a preservação ambiental, o crescimento econômico e o progresso social, indissociáveis das suas interfaces, a socioambiental, a ecoeconômica e a socioeconômica (CRISTÓFALO et al., 2016). O foco nas dimensões ambiental, econômica e social possibilita que os interesses de diversos *stakeholders*, como as comunidades locais, os governos, os acionistas e os colaboradores, sejam contemplados em uma perspectiva ampliada que relaciona os aspectos econômicos e produtivos das companhias com a sua preocupação com o meio ambiente e com a sociedade (CRISTÓFALO et al., 2016).

A integração das dimensões ambiental, econômica e social no processo de gerenciamento das empresas, destaca o papel fundamental das organizações em relação ao alcance do desenvolvimento sustentável (BAUMGARTNER; RAUTER; 2017). Nesse sentido, as preocupações socioambientais devem estar refletidas no planejamento estratégico das corporações, sendo operacionalizadas através da implementação de um conjunto de responsabilidades mais inclusivo, de forma que os resultados são vislumbrados com ênfase no longo prazo e com foco no desenvolvimento sustentável (OTHMAN; AMEER, 2014). A incorporação dessas questões à realidade empresarial, *per se*, transcende a cultura do lucro pelo lucro baseada exclusivamente no desempenho financeiro e atribui um novo sentido à firma, o de contribuir para o progresso econômico visando, ao mesmo tempo, a preservação do meio ambiente e um maior bem-estar para a sociedade.

As estratégias empresariais e de sustentabilidade, quando alinhadas, refletem a natureza e a extensão das oportunidades associadas ao desenvolvimento sustentável em relação à criação de valor econômico para as empresas (LLORET, 2016). Isso sugere que, apesar da necessidade do cumprimento de certos requisitos legais e/ou de mercado, as práticas socioambientais, além de permitirem que as organizações contribuam para a proteção do meio ambiente e para o alcance de um maior bem-estar da sociedade, viabilizam o alcance de retornos financeiros. Estes, via de regra, estão associados a uma conduta estratégica das corporações no equacionamento dos interesses e das expectativas dos diversos *stakeholders* e da própria firma. Como exemplo, pode-se citar a crescente demanda por fundos de investimento socialmente responsável, que emana de um perfil de investidores interessados nos fatores ambientais, sociais e de governança corporativa praticados pelas companhias.

2.6 FINANÇAS SUSTENTÁVEIS

A sustentabilidade vem sendo gradativamente incorporada às finanças através das preocupações socioambientais dos investidores. Isso fez surgir o conceito de finanças sustentáveis, o qual refere-se à efetiva utilização de aspectos econômicos, ambientais e sociais nos processos decisórios do mercado financeiro (BRITO; GONZALEZ, 2007). Nesse âmbito analítico, a sustentabilidade pode ser considerada como sendo o ponto de partida para a adoção de princípios de investimento que contemplam, conjuntamente, fatores relacionados à prosperidade econômica, à proteção ambiental e ao progresso social (FRANCESCO; LEVY, 2008).

Ao investir ou financiar o setor produtivo, o mercado financeiro torna-se corresponsável moral pelos impactos gerados sobre o meio ambiente e a sociedade, como as externalidades negativas ocasionadas pelas atividades econômicas (BRITO; GONZALEZ, 2007). Através da incorporação de uma série de fatores de risco intangíveis, a sustentabilidade passa a fornecer um quadro holístico para o gerenciamento de riscos (FRANCESCO; LEVY, 2008). Essa abordagem consiste em uma ferramenta útil para avaliar certas questões ambientais e sociais, como as mudanças climáticas globais e os seus impactos sobre o bem-estar social (FRANCESCO; LEVY, 2008).

O conceito de finanças sustentáveis sintetiza dois princípios fundamentais, o primeiro relacionado ao financiamento do processo de desenvolvimento econômico e o segundo associado às preocupações da sociedade com relação à escassez de recursos naturais e com os impactos sociais provocados pelas atividades econômicas (BRITO; GONZALEZ, 2007). Em apoio às questões socioambientais, que evidenciam uma clara preferência do capital por padrões mais elevados de gestão nesse âmbito, têm surgido diversos produtos inovadores no mercado financeiro, como os investimentos socialmente responsáveis (BRITO; GONZALEZ, 2007).

As finanças sustentáveis mostram que os investimentos financeiros são instrumentos cada vez mais importantes para provar as credenciais da sustentabilidade (WILSON, 2010). A criação de valor para novos perfis de investidores que, por sua vez, estimulam as empresas a aderirem às práticas socioambientais, representa um elemento fundamental para que a sociedade, através de uma responsabilidade compartilhada, possa atingir os patamares de prosperidade econômica, de proteção ambiental e de inclusão social requeridos para que se alcance o desenvolvimento sustentável.

2.7 INVESTIMENTOS SOCIALMENTE RESPONSÁVEIS

O investimento socialmente responsável tem as suas origens no interesse de tornar o mundo um lugar melhor, buscando assegurar a preservação do meio ambiente e promover a justiça social (HEBB; LOUCHE; HACHIGIAN, 2014). Vislumbrando o alcance desse objetivo, a partir da década de 1990 tem-se observado uma mudança nas expectativas dos agentes econômicos, que passaram a refletir a incorporação de fatores ambientais, sociais e de governança corporativa nas agendas de investidores, ativistas e acadêmicos (GONZALEZ-PEREZ; LEONARD, 2015). Assim, surge o conceito de investimento socialmente responsável, também chamado de investimento sustentável, investimento ético, investimento verde, investimento comunitário, investimento por impacto, entre outras denominações que consideram a inclusão de questões socioambientais na realização de investimentos financeiros (JUNKUS; BERRY, 2015).

As preocupações e as cobranças de diversos *stakeholders* com relação a forma como os aportes financeiros têm sido investidos, têm delineado uma nova conjuntura no mercado financeiro. Essa, parece estar fora do *mainstream* da teoria financeira ao desafiar a racionalidade ilimitada do *homo economicus* que busca sempre maximizar os seus ganhos em um processo de alocação de recursos conduzido pelo mecanismo de mercado. Nessa perspectiva, considera-se que as decisões sobre os investimentos podem ser tomadas com base em duas dimensões, uma norteada por motivos éticos, ambientais e sociais e outra orientada somente por interesses de natureza econômica (RIVOLI, 1995; HEBB; LOUCHE; HACHIGIAN, 2014).

A decisão ética ampara-se no julgamento sobre o curso do investimento ser certo ou errado de acordo com princípios éticos, enquanto a econômica avalia os movimentos relacionados à rentabilidade dos investimentos, como o aumento ou a redução do preço das ações (RIVOLI, 1995). A teoria das finanças e a literatura sobre os ISR sugerem que os investidores optam por investir alguns ou todos os seus fundos de forma ética para obterem retornos financeiros superiores aos de mercado e outros que não são de natureza financeira, além de buscarem contribuir para uma mudança socioambiental positiva (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005).

Alguns dos principais motivos que levam a investir em ISR são: i) os investidores podem ser conduzidos por considerações éticas; ii) os investidores podem estar interessados apenas em perfis de retorno vantajosos; iii) ao tornar a dimensão ambiental uma parte integrante das suas decisões de investimento, os investidores podem simplesmente responder a restrições

legais ou regulamentares; e iv) os investidores podem estar buscando melhorar a sua reputação, fazendo uma demonstração pública da sua preocupação com o meio ambiente (TRIPATHI, BHANDARI, 2015).

Conforme Hebb, Louche e Hachigian (2014), o ISR pode ser descrito, ao mesmo tempo, como um produto, uma prática e um processo, em que o objetivo principal consiste na criação de valor a longo prazo:

- i. É um produto de investimento que incorpora fatores financeiros e permite que os investidores escolham as ações das empresas com base em padrões ambientais, sociais, éticos e de governança corporativa;
- ii. É uma prática utilizada para facilitar a identificação de organizações que mantêm registros sólidos de sustentabilidade, incentivando o aprimoramento do desempenho ASG das firmas;
- iii. É um processo por meio do qual se busca influenciar a conduta das corporações em uma série de questões socioambientais, objetivando avançar em direção ao desenvolvimento sustentável.

Em termos conceituais, o ISR representa uma estratégia de investimento que considera, além de análises econômico-financeiras, fatores de desempenho ambiental, social e de governança corporativa nos processos de tomada de decisão (ROCA; WONG; TULARAM, 2010; INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES – IBRI, 2011; BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014; LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Ao contrário dos investimentos convencionais, nos ISR aplica-se um conjunto de procedimentos específicos para selecionar ou excluir ativos com base nos padrões ASG, ao mesmo tempo em que o ativismo dos acionistas busca promover estratégias corporativas compatíveis com o desenvolvimento sustentável (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008).

A inclusão dos critérios ASG no campo das finanças tem despertado progressivamente o interesse dos investidores, demandando cada vez mais atenção por parte das empresas (IBRI, 2011; TRIPATHI, BHANDARI, 2015). Paralelamente a isso, as unidades administrativas das organizações devem decidir sobre implementar ou não estratégias de sustentabilidade (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008).

Se os projetos das corporações resultarem em externalidades positivas para os seus *stakeholders*, cria-se um valor positivo líquido para os acionistas interessados em ISR (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008). Em situações que originem externalidades negativas, não há motivações para que eles apoiem os empreendimentos das firmas (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008). Por essa razão, considera-se que um investidor

socialmente responsável penaliza as ações das empresas que não atuam de acordo com os critérios ASG, não investindo nelas (TRIPATHI, BHANDARI, 2015).

Pela ótica do ISR, investir não é uma atividade neutra, uma vez que se reconhece que as decisões de investimento têm impactos sobre o meio ambiente e a sociedade, os quais são identificados procurando-se minimizar as externalidades negativas e maximizar as externalidades positivas (HEBB; LOUCHE; HACHIGIAN, 2014). Em muitos casos, os investidores estão dispostos a sacrificar ganhos financeiros se, através dos seus investimentos, benefícios ambientais e sociais puderem ser alcançados (BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014). A busca por retornos de natureza não financeira oferece a esses investidores uma utilidade extra, que expressa um maior nível de satisfação e motiva a realização desses investimentos (ROCA; WONG; TULARAM, 2010).

Considera-se que os investidores de ISR, além de contribuírem para a criação de valor social e financeiro através do mercado de capitais, têm um papel importante a ser desempenhado nos principais debates societários e políticos, como a globalização, os direitos humanos, a relação entre as corporações e a comunidade, entre outros (HEBB; LOUCHE; HACHIGIAN, 2014). O ISR fornece aos seus investidores mais do que um retorno de natureza financeira, uma vez que aplicar recursos em uma empresa ou em um fundo ético é, até certo ponto, como investir em uma obra de arte e assim, além de ganhos financeiros, o investimento produz um índice de prazer e até mesmo de *status* social (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005).

Um pressuposto fundamental dos ISR é o fato de se considerar que esses investimentos permitem reduzir o risco e gerar maior valor financeiro tanto para as ações individuais quanto para a economia como um todo (HEBB; LOUCHE; HACHIGIAN, 2014). Estudos mostram que o desempenho bruto das estratégias de seleção de carteira baseadas em risco, melhora significativamente em um universo de ISR (BERTRAND; LAPOINTE, 2015). Além disso, outras pesquisas apontam que as ações e os fundos de ISR tendem a superar ou a alcançar retornos pelo menos equivalentes à performance daqueles do mercado convencional (BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014; PEYLO, 2014).

Montar uma carteira de investimentos baseada em questões econômicas, ambientais e sociais consiste em uma forma de maximizar o retorno do acionista (ROSA et al., 2010). O risco e o retorno atribuídos a um portfólio de ISR não diferem significativamente em relação aos fundos convencionais (VARGAS, 2016). As carteiras compostas por ISR podem superar os índices de mercado, em particular sobre a base ajustada ao risco e quando são utilizadas para a construção de artifícios de negociação (BRZESZCZYNSKI; MCINTOSH, 2014). Pesquisas

têm mostrado que existe um bônus de desempenho quando estratégias baseadas em risco são utilizadas em um universo de ISR (BERTRAND; LAPOINTE, 2015).

O principal critério para a seleção de carteiras de ISR baseia-se em uma estratégia conhecida como *screening*. O *screening*, ou filtro de triagem, consiste em um método que visa identificar setores ou empresas que apresentam algum tipo de diferencial, avaliando os aspectos positivos (*positive screening*) e os aspectos negativos (*negative screening*) pela ótica do desenvolvimento sustentável (BRITO; GONZALEZ, 2007; IBRI, 2011; PUASCHUNDER, 2017). A técnica de *screening* é aplicada como um procedimento inicial no processo de tomada de decisão para verificar se os investimentos estão ou não em conformidade aos critérios ASG (IBRI, 2011; PUASCHUNDER, 2017).

Os proponentes da técnica de triagem argumentam que esse processo fornece uma oportunidade para os administradores de fundos identificarem as melhores empresas em termos de desempenho financeiro futuro (DAS; RAO, 2013). Ressalta-se que mesmo com a utilização desse método de seleção, as evidências mostram que ainda assim é possível alcançar um portfólio diversificado em um universo de ISR (PEYLO, 2014).

Na triagem positiva, são identificadas e selecionadas as empresas de destaque em setores que contribuam para a economia verde e que valorizam o desenvolvimento sustentável, apresentando um sólido desempenho da sustentabilidade corporativa (ROCA; WONG; TULARAM, 2010; IBRI, 2011; PUASCHUNDER, 2017). As corporações que apresentam as melhores práticas nesse âmbito, assim como importantes inovações tecnológicas, são chamadas de *best in class* (BRITO; GONZALEZ, 2007; IBRI, 2011). Nesse rol, destacam-se os segmentos *clean tech*, o setor florestal, as tecnologias de baixo carbono, o gerenciamento de água e de resíduos, a energia renovável e a eficiência energética, a agricultura sustentável e de baixo carbono, o transporte de massa, entre outros.

Na triagem negativa, os setores com alguma restrição ou com maior risco reputacional envolvido, são excluídos por serem considerados como moral e eticamente irresponsáveis segundo os critérios ASG (ROCA; WONG; TULARAM, 2010; IBRI, 2011; PUASCHUNDER, 2017). Nesse rol, destacam-se os segmentos de bebidas alcoólicas, de tabaco, de armamento, de jogos de azar, de pornografia, entre outros.

Após a verificação do perfil socialmente responsável das corporações com base na técnica de triagem, são formadas as carteiras de investimento (ROSA et al., 2010). O processo de tomada de decisão dos investidores socialmente responsáveis é realizado através da sobreposição de uma análise qualitativa das políticas e práticas das empresas, à sua análise quantitativa da condição financeira e das perspectivas futuras de mercado dessas organizações

(BENNETT; IQBAL, 2013). Por essa razão, os ISR mostram-se incompatíveis com as demandas racionais de investimento que utilizam apenas o risco e o retorno como critérios utilizados para montar um portfólio (PEYLO, 2014).

Estudos recentes contestam a aplicabilidade prática dessa metodologia e apontam que, ao invés de um formato de exclusão, os investidores preferem considerar a questão dos ISR em termos mais holísticos (BERRY; JUNKUS, 2013). Evidencia-se uma preferência por recompensar as empresas que apresentam um comportamento social globalmente positivo, ante excluir as corporações com base em produtos ou práticas particulares (BERRY; JUNKUS, 2013). Atualmente, para a maioria dos fundos, a lógica dos ISR tem sido orientada, sobretudo no contexto da integração com os padrões ASG, para promover a triagem financeira e depois selecionar as corporações consideradas mais rentáveis e menos arriscadas do ponto de vista da rentabilidade (REVELLI, 2016; REVELLI, 2017).

A natureza conceitual dos ISR implica que essa modalidade de investimentos se situa fora da estrutura comum de mercados eficientes, a qual é amplamente utilizada na teoria tradicional das finanças como critério para decidir sobre a atratividade de um investimento (BERRY; JUNKUS, 2013; LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Isso está baseado no fato de que o único objetivo de gerar e de maximizar os retornos financeiros não explica aos ISR (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005). Sob uma análise criteriosa dos fatores ASG, os investidores e os analistas financeiros, ao comporem os seus portfólios, evitam a inclusão de empresas com desempenho ético, financeiro, legal e moral considerado inaceitável segundo esses padrões (GONZALEZ-PEREZ; LEONARD, 2015).

Nas abordagens de investimento convencionais, as decisões são baseadas inteiramente em considerações econômicas (JONES et al., 2008). De acordo com a teoria padrão de escolha do portfólio, ao restringir-se o conjunto de oportunidades de investimento, torna-se impossível melhorar o seu desempenho (GIL-BAZO; RUIZ-VERDÚ; SANTOS, 2010). Considerando-se que uma das características definidoras dos fundos de ISR é que eles excluem do seu universo de investimentos as empresas de setores como tabaco, álcool, jogos de azar, armamento, entre outras com algum tipo de risco reputacional envolvido, segue-se que a sua performance ajustada ao risco não deve ser superior ao que poderia ser caso essas limitações não fossem impostas (GIL-BAZO; RUIZ-VERDÚ; SANTOS, 2010). Assim, presume-se que tal restrição na composição da carteira irá necessariamente inibir os retornos financeiros dos ISR (JONES et al., 2008; BINMAHFOUZ; HASSAN, 2013).

No universo dos ISR não existe um quadro financeiro subjacente para relacionar a responsabilidade social marginal de um investimento com o seu desempenho (BERRY;

JUNKUS, 2013). Não há, portanto, um modelo teórico que estabeleça o quanto é apropriada a responsabilidade social ou que defina o *trade-off* ideal entre ela e outros critérios de investimento, principalmente o risco e o retorno (BERRY; JUNKUS, 2013). Com efeito, o ISR encontra-se fora da estrutura de mercados eficientes utilizada na teoria tradicional das finanças para decidir sobre a atratividade de um investimento (BERRY; JUNKUS, 2013; YAN; FERRARO, 2017).

Assim, no segmento dos ISR não existe um conjunto de investidores homogêneo que busca otimizar a variância média dos seus ativos (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005). Isso requer ultrapassar o conceito de retorno financeiro para uma definição mais holística de utilidade (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005). O desafio consiste em reunir evidências capazes de explicar a gama de investimentos considerados aceitáveis por diferentes investidores interessados pelas questões socioambientais (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005).

A abordagem do investimento racional aplicada na teoria tradicional das finanças, trabalha com um sistema de valores e de preferências pessoais que fornece uma base normativa para o equilíbrio entre preços e risco, não obstante seja excessivamente complexo (PEYLO, 2014). Seu funcionamento está alicerçado em um conjunto de axiomas que são sólidos e compreensíveis dentro de um mundo modelo, contribuindo para explicar os mecanismos e os princípios que não poderiam ser descritos na complexidade do plano real (PEYLO, 2014). O conceito de investimento racional facilita a seleção de ativos em um rol de oportunidades de investimento, assim como a alocação de ações relativas a um determinado capital, de forma otimizada e equilibrada (PEYLO, 2014).

A teoria moderna das finanças baseia-se na hipótese de mercados eficientes, a qual sustenta que as ações estão corretamente cotadas, de modo que os investidores não podem encontrar sistematicamente ações sub ou sobrevalorizadas (WALL, 1995). Nessa perspectiva, uma gestão ativa das ações apenas desperdiça o seu valor ao aumentar os custos de transação (WALL, 1995). Segundo a hipótese de mercados eficientes, os preços das ações refletem instantaneamente e perfeitamente todas as informações disponíveis (FAMA, 1970; WALL, 1995). Se há eficiência no mercado, então nenhum investidor terá a oportunidade de auferir retornos anormais (FAMA, 1970; LEAN; ANG; SMYTH, 2015).

Quando o desempenho de um portfólio é persistente ao longo do tempo, o seu desempenho passado consiste em um guia importante para nortear as futuras decisões de investimento (LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Caso não se verifique essa persistência, os investidores podem aplicar estratégias passivas de gerenciamento de ativos para tomarem as suas decisões, as quais estarão expostas a problemas de agência atenuante (LEAN; ANG;

SMYTH, 2015). A teoria padrão das finanças sustenta que se duas carteiras produzem retornos idênticos, o investidor será indiferente entre investir em qualquer uma delas (DAM; HEIJDRÁ; 2011). As carteiras de ISR ganham uma taxa de retorno de mercado após o ajuste pelo seu nível de risco, o qual é não diversificável (WALL, 1995).

A teoria moderna do portfólio sustenta que uma carteira eficiente deve ser composta por ações diversificadas e não correlacionadas, para que assim se possa maximizar o retorno esperado ao espalhar o risco (LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Do ponto de vista da teoria tradicional das finanças, uma carteira de ISR é menos diversificada devido ao processo de triagem aplicado durante a composição do portfólio, tornando esses investimentos mais arriscados (LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Isso se dá em virtude dos critérios não financeiros utilizados na seleção das ações, em que as empresas que violam as crenças e os sistemas de valores dos investidores socialmente responsáveis são imediatamente excluídas (BINMAHFOUZ; HASSAN, 2013).

Segundo a teoria moderna do portfólio, quaisquer restrições impostas à seleção de uma carteira diversificada resultam na redução do seu desempenho (DAS; RAO, 2013). Em vista disso, a performance dos ISR seria inferior à dos investimentos convencionais em decorrência da exclusão de empresas e setores que não se enquadram nos critérios socialmente responsáveis (BINMAHFOUZ; HASSAN, 2013; DAS; RAO, 2013). A consequência imediata seria um portfólio menos diversificado e otimizado, com maior exposição ao risco pelo aumento da volatilidade e com diminuição das chances de retorno (BINMAHFOUZ; HASSAN, 2013). No entanto, as evidências sugerem que uma gestão ativa da carteira torna possível melhorar o desempenho financeiro dos ISR (DAS; RAO, 2013).

Em um mercado eficiente, os preços do mercado de ações devem refletir o valor fundamental, ou seja, a soma descontada dos dividendos esperados pelos acionistas (BECCHETTI et al., 2012). Quando os investidores são racionais e plenamente informados, os valores esperados são instantaneamente revisados com a chegada de notícias que influenciam os fatores determinantes do valor fundamental, como os fluxos de caixa futuros, as taxas de juros, os prêmios de risco, os betas das ações, entre outros (BECCHETTI et al., 2012). Assim, o impacto de certos eventos deve ser previsível com base em uma estrutura teórica que avalia esse efeito nos diferentes componentes da fórmula do valor fundamental de mercado (BECCHETTI et al., 2012). Conforme o exposto, pode-se considerar que o investimento racional integra diversos aspectos que são desejáveis e importantes para viabilizar um processo de investimento eficiente e eficaz (PEYLO, 2014).

Segundo Hamilton, Jo e Statman (1993), os debates que comparam o retorno relativo das carteiras socialmente responsáveis com o das carteiras convencionais, se concentram em três hipóteses principais:

- i. A primeira hipótese é que os retornos esperados ajustados ao risco das carteiras socialmente responsáveis são iguais aos retornos esperados ajustados ao risco das carteiras convencionais. Isso é consistente em um mundo no qual as características de responsabilidade social das ações não têm preço, de forma que os investidores socialmente responsáveis que vendem ações encontram suficientes investidores convencionais prontos para comprá-las, garantindo que os preços não caiam. Essa é a hipótese mais próxima do espírito do quadro padrão das finanças, em que os fatores que não são *proxies* para o risco não afetam os retornos esperados. Como os retornos esperados para os investidores também são o custo do capital para a empresa, essa hipótese implica que os investidores socialmente responsáveis não reduzem o custo relativo do capital para as empresas socialmente responsáveis, favorecendo os seus mercados;
- ii. A segunda hipótese é que os retornos esperados ajustados ao risco das carteiras socialmente responsáveis são menores do que os retornos esperados ajustados ao risco das carteiras convencionais. Essa hipótese implica que os investimentos socialmente responsáveis têm um impacto nos preços das ações. Em particular, aumentam o valor das empresas socialmente responsáveis em relação ao valor das empresas convencionais, reduzindo os retornos esperados e o custo do capital das primeiras, sugerindo que os preços de mercado são uma característica da responsabilidade social;
- iii. A terceira hipótese é que os retornos esperados ajustados ao risco das carteiras socialmente responsáveis são maiores do que os retornos esperados ajustados ao risco das carteiras convencionais. Esse é o caso de “fazer bem enquanto se está fazendo o bem”. Isso pode ser possível se há uma quantidade suficientemente grande de investidores convencionais que subestime consistentemente a probabilidade de que informações negativas sejam divulgadas sobre as empresas que não são socialmente responsáveis. Em um quadro hipotético, pode-se imaginar, por exemplo, que os investidores convencionais subestimem de modo consistente a possibilidade de acontecerem derramamentos de petróleo. O declínio nos preços das ações das companhias de petróleo após um acontecimento como esse, diminuirá os retornos das carteiras convencionais que detêm ações dessas organizações, mas as carteiras dos investidores socialmente responsáveis que evitam tais ações, não serão afetadas.

A primeira hipótese está embasa na suposição de que o ISR não adiciona ou destrói valor em termos de retornos ajustados ao risco, porque a sustentabilidade empresarial e a responsabilidade social corporativa não têm preço (BAUER; KOEDIJK; OTTEN, 2005). Isso implica que os ISR não são ineficientes, uma vez que o mercado de ações classifica corretamente o desempenho da sustentabilidade empresarial ou da responsabilidade social corporativa das empresas referente às questões ambientais, sociais, econômicas e éticas correspondentes (MOLLET; ZIEGLER, 2014).

A segunda hipótese fundamenta-se no pressuposto de que as carteiras socialmente responsáveis oferecem retornos esperados menores em relação às carteiras regulares, porque os investidores socialmente responsáveis podem influenciar o valor de mercado das empresas socialmente responsáveis para cima, reduzindo os seus retornos esperados e o seu custo de capital (BAUER; KOEDIJK; OTTEN, 2005). Em outras palavras, os investidores socialmente responsáveis, ao aumentarem os preços das ações de empresas com um alto desempenho da sustentabilidade corporativa em relação ao seu valor fundamental, fazem com que os mercados de ISR tornem-se caros e, portanto, apresentem retornos esperados mais baixos do que os mercados convencionais (MOLLET; ZIEGLER, 2014).

A terceira hipótese postula que os retornos esperados das ações de empresas socialmente responsáveis são superiores aos rendimentos das ações de organizações convencionais (BAUER; KOEDIJK; OTTEN, 2005). Com efeito, os retornos esperados dos ISR são maiores do que os dos seus homólogos convencionais, se um alto desempenho da sustentabilidade corporativa estiver relacionado a uma melhor performance econômica das corporações sem reconhecimento por parte dos investidores, o que implica níveis de mercado de ISR de baixo custo (MOLLET; ZIEGLER, 2014).

Existem visões alternativas na literatura sobre o efeito de incorporar valores ou preocupações socioambientais nos processos de investimento. A primeira sustenta que os investidores de ISR “fazem bem, mas não bem”, uma vez que sacrificam uma maior rentabilidade dos investimentos em busca dos seus próprios princípios (JUNKUS; BERRY, 2015). A segunda defende que os investidores de ISR “fazem bem ao fazer o bem”, pois espera-se que uma empresa que considere princípios éticos em sua estratégia de gestão tenha um desempenho no mercado superior ao de uma que não o faça (JUNKUS; BERRY, 2015).

Os investidores socialmente responsáveis podem ser enquadrados em duas categorias diferentes: i) a primeira é composta por investidores que aceitam retornos mais baixos em comparação com os investimentos convencionais, desde que os ISR reflitam os valores pessoais desses agentes, estando eles menos preocupados com o desempenho financeiro dos seus

portfólios; e ii) a segunda é constituída por investidores que não estão dispostos a sacrificarem o desempenho financeiro dos seus portfólios (DAS; RAO, 2013).

O debate teórico e empírico sobre o desempenho financeiro dos ISR contribui tanto para a sua construção quanto para a sua legitimação, particularmente através do fenômeno de integração dos fatores ASG (REVELLI, 2016). Para elucidar alguns aspectos relacionados à rentabilidade desses investimentos, que ainda são conflitantes na literatura especializada, torna-se importante considerar algumas pesquisas empíricas realizadas nesse âmbito, apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Revisão de literatura sobre o desempenho dos ISR

Autor(es)	Caracterização bibliométrica
Bello (2005)	<p>Período abordado: de janeiro de 1994 até março de 2001.</p> <p>Composição da amostra: dois grupos de fundos mútuos do mercado financeiro dos Estados Unidos, sendo eles 42 fundos socialmente responsáveis e 84 fundos convencionais.</p> <p>Método utilizado: três medidas alternativas do desempenho dos investimentos para comparar os dois grupos de fundos mútuos, sendo elas o alfa de Jensen, a relação de informação de Sharpe e o excesso de desvio padrão do retorno ajustado.</p> <p>Principais conclusões: i) ajustando-se o nível de diversificação da carteira ao risco, a performance dos fundos socialmente responsáveis mostra-se indistinguível da dos fundos convencionais; ii) não existem diferenças significativas entre os dois grupos de ativos com relação à concentração, à participação total e ao tamanho das empresas que compõem o portfólio; iii) os fundos socialmente responsáveis não diferem dos fundos convencionais em termos de características dos ativos, grau de diversificação da carteira e desempenho do investimento no longo prazo.</p>
Jones et al. (2008)	<p>Período abordado: de 1986 até 2005.</p> <p>Composição da amostra: rendimento de 89 fundos socialmente responsáveis no mercado financeiro da Austrália.</p>

	<p>Método utilizado: análise descritiva do desempenho dos fundos de ISR comparativamente à performance dos seus quatro principais <i>benchmarks</i>, sendo o ASX 100, o ASX 200, o ASX 500 e o <i>All Ordinaries Accumulation Index</i>, a qual é seguida por estimativas do Modelo de Precificação de Ativos de Capital (CAPM), único e multifatorial.</p> <p>Principais conclusões: i) um desempenho inferior dos fundos de ISR se pronuncia frequentemente em fundos menores e recentemente estabelecidos, com exposições relativamente maiores aos mercados internacionais de ações; ii) o desempenho dos ISR está associado, sistemática e positivamente, a fatores como o nível de exposição do investimento aos mercados de capitais nacionais e internacionais, ao tamanho do fundo e à sua idade.</p>
Copp, Kremmer e Roca (2010)	<p>Período abordado: de 7 de janeiro de 1994 até 29 de maio de 2009.</p> <p>Composição da amostra: preço de fechamento semanal do <i>Dow Jones Total Stock Market Index World</i> (DJTM-World), do <i>Dow Jones Sustainability Index World</i> (DJSI-World), do <i>Dow Jones Total Stock Market Index Australia</i> (DJTM-Australia) e do <i>Dow Jones Sustainability Index Australia</i> (DJSI-Australia), totalizando 804 observações.</p> <p>Método utilizado: estimação de Modelos de Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada Multivariada (GARCH-M).</p> <p>Principais conclusões: i) na Austrália, os fundos de ISR mostram-se mais arriscados do que os fundos de investimentos convencionais; ii) em cenários de desaceleração econômica, os retornos dos investimentos de capital convencional e os dos ISR seguem uma trajetória de declínio no mercado acionário australiano; iii) em cenários de crise, os ISR mostram-se mais seguros na Austrália do que em outros países; iv) em âmbito mundial, os ISR apresentam o mesmo nível de risco do que os investimentos convencionais, tornando-se mais incertos quando a economia internacional entra em recessão.</p>

<p>Gil-Bazo, Ruiz-Verdú e Santos (2010)</p>	<p>Período abordado: de 1997 até 2005</p> <p>Composição da amostra: fundos mútuos ativamente administrados, do varejo, no mercado financeiro dos Estados Unidos, sendo eles 455 de ISR e 8.476 de investimentos convencionais, que correspondem, respectivamente, a 86 fundos socialmente responsáveis e a 1.761 fundos convencionais.</p> <p>Método utilizado: estimação dos retornos ajustados ao risco através do modelo de quatro fatores de Carhart.</p> <p>Principais conclusões: i) os fundos de ISR não impõem um preço adicional ao investidor, refletido na forma de desempenho reduzido, comparativamente aos fundos de investimentos convencionais; ii) investimentos em fundos socialmente responsáveis permitem que os investidores ganhem um prêmio, em termos de desempenho ajustado ao risco, superior ao fornecido por fundos de investimentos convencionais similares; iii) não há evidências conclusivas de que os fundos de ISR possuam taxas mais elevadas do que os fundos de investimentos convencionais.</p>
<p>Junkus e Berry (2010)</p>	<p>Período abordado: novembro de 2008.</p> <p>Composição da amostra: 5.391 membros da Associação Americana de Investidores Individuais (AAII) dos Estados Unidos, com e sem experiência no mercado de ISR, perfazendo 6,34% do total dos 85.000 integrantes da instituição.</p> <p>Método utilizado: aplicação de um questionário, enviado para os respondentes via e-mail pela própria AAII, contendo perguntas relativas ao gênero, à idade, ao estado civil, ao grau de instrução, à situação empregatícia, ao nível de renda, à realização de ISR, à experiência com ISR, às motivações para investir em ISR e às definições filosóficas por trás dos ISR, distinguindo-se os investidores de ISR dos investidores convencionais através de testes de hipóteses unilaterais e bilaterais.</p> <p>Principais conclusões: i) os investidores de ISR diferem significativamente dos investidores convencionais; ii) há evidências de que o perfil teórico em desenvolvimento para caracterizar os investidores de ISR de fato se verifica na realidade; iii) o típico</p>

	investidor de ISR nos Estados Unidos é, normalmente, do sexo feminino, solteiro, jovem, menos rico e mais instruído comparativamente ao típico investidor convencional.
Roca, Wong e Tularam (2010)	<p>Período abordado: de 3 de janeiro de 1994 até 31 de maio de 2010.</p> <p>Composição da amostra: dados diários do <i>Dow Jones Sustainability Index</i> (DJSI) considerando os mercados da Austrália, do Canadá, do Japão, do Reino Unido e dos Estados Unidos.</p> <p>Método utilizado: avaliação do grau de co-movimentação de preços entre os mercados de ISR com base em três etapas: i) análise do vetor autorregressivo (VAR) para identificar os mercados que têm co-movimentos de preço significativos; ii) análise de decomposição da variância (VDC) entre os mercados identificados como sendo significativamente relacionados, para determinar a extensão da interação entre esses mercados e para verificar quais mercados são os mais e os menos influentes; e iii) análise de resposta ao impulso para medir a duração e a velocidade de interação entre os mercados.</p> <p>Principais conclusões: i) os mercados analisados respondem um ao outro com significativa rapidez e dentro de um curto espaço de tempo; ii) a ligação entre os mercados de ISR apresenta um aumento durante o período analisado, indicando uma maior aproximação com o passar dos anos; iii) por serem cada vez mais interdependentes e significativamente integrados ao longo dos anos, os mercados de ISR têm um elevado risco de contágio, exigindo uma coordenação de políticas em todos esses mercados como forma de eliminar essa adversidade; iv) os mercados dos Estados Unidos e do Reino Unido são os mais abertos e interligados, o que resulta da sua alta globalização e faz com que sejam consideravelmente influenciados por movimentos de preços de outros mercados de ISR; v) os mercados da Austrália e do Canadá são impulsionados por eventos internos e não externos, oferecendo melhores benefícios em relação aos mercados americano e britânico do ponto de vista da diversificação do portfólio; vi) os mercados australiano e canadense apresentam correlações mais baixas com outros mercados</p>

	<p>comparativamente aos mercados britânico e norte americano, que possuem correlações mais altas.</p>
<p>Ortas, Moneva e Salvador (2012)</p>	<p>Período abordado: de 1 de dezembro de 2005 até 31 de março de 2010.</p> <p>Composição da amostra: preços de fechamento diários e retornos diários do Índice Brasileiro de Sustentabilidade Empresarial (ISE), do seu <i>benchmark</i> oficial, o Índice Bovespa (Ibovespa), do Índice Brasil, do Índice Brasil 50, do Índice Brasil <i>Small Cap</i> e do Índice Brasil <i>Medium-Large Cap</i>.</p> <p>Método utilizado: análise descritiva dos retornos diários dos índices seguida pela estimação recursiva da dinâmica do risco sistemático através do algoritmo do Filtro de Kalman (KF), a partir da estimação de modelos de volatilidade para séries temporais.</p> <p>Principais conclusões: i) o ISE não apresenta diferenças significativas em termos de retornos ajustados ao risco médio quando comparado ao Ibovespa, ao Índice Brasil 50 e ao Índice Brasil <i>Small Cap</i>; ii) o ISE apresenta um desempenho inferior ao Índice Brasil e ao Índice Brasil <i>Medium-Large Cap</i> em termos de retornos ajustados ao risco médio; iii) investir no ISE não resulta em risco ou desvantagem de retorno em períodos de mercado em alta, uma ideia contrária à moderna teoria da carteira, que prevê um desempenho financeiro negativo dos índices de ações de ISR porque as telas ambientais e sociais limitam as possibilidades de diversificação e, conseqüentemente, levam os investidores a fazerem investimentos menos favoráveis em termos de rentabilidade.</p>
<p>Ortas, Burritt e Moneva (2013)</p>	<p>Período abordado: de 31 de dezembro de 2003 até 31 de outubro de 2011.</p> <p>Composição da amostra: retornos excedentes diários continuamente compostos sobre o ativo livre de risco do <i>Dow Jones Sustainability Asia Pacific Index</i> (DJSI-AP) e do seu <i>benchmark</i> oficial, o <i>Dow Jones Global Total Stock Market Index</i> (DJ-G), totalizando 2.043 observações, no mercado do bloco Ásia-Pacífico.</p> <p>Método utilizado: análise descritiva dos retornos diários dos índices seguida pela estimação recursiva da dinâmica do risco sistemático</p>

	<p>através do algoritmo do Filtro de Kalman (KF), a partir da estimação de modelos de volatilidade para séries temporais.</p> <p>Principais conclusões: i) o DJ-G apresenta um retorno diário médio maior e um nível de risco menor do que o DJSI-AP para o período amostrado; ii) o DJSI-AP não apresenta desempenho inferior ao DJ-G em termos de retornos ajustados ao risco para o período analisado; iii) a teoria moderna da carteira, que prevê consequências financeiras negativas para a realização de ISR, não pode ser desafiada nesse contexto ou para o período abordado na pesquisa.</p>
Brzeszczynski e McIntosh (2014)	<p>Período abordado: de 2000 até 2010.</p> <p>Composição da amostra: desempenho das carteiras de ações de ISR de empresas listadas no FTSE100 e no FTSE4GOOD, no mercado de ações do Reino Unido</p> <p>Método utilizado: análise do desempenho das carteiras de ISR com base em medidas ajustadas ao risco, sendo elas o Índice de Sharpe Modificado (MSR) de Israelsen e os Retornos Equivalentes de Certeza (CEQ), considerando-se as duas versões do portfólio, com e sem dividendos.</p> <p>Principais conclusões: i) os retornos dos portfólios compostos por ações de ISR listadas no Global-100, são superiores aos rendimentos do FTSE100 e do FTSE4GOOD; ii) os resultados indicam que as carteiras de ISR obtiveram retornos totais substancialmente maiores do que as estratégias de compra e de retenção de referência para o FTSE100 e para o FTSE4GOOD durante todo o período abordado, mesmo depois de serem incluído diversos níveis de custos de transação.</p>
Dorfleitner e Utz (2014)	<p>Período abordado: de dezembro de 2011 até junho de 2012.</p> <p>Composição da amostra: 277 investidores privados, 16 investidores institucionais e 61 gestores de ativos, totalizando 354 respondentes no mercado financeiro da Alemanha.</p> <p>Método utilizado: aplicação de um questionário <i>on-line</i> para coletar informações sobre todos os tipos de preferências dos investidores, analisadas através de abordagem bivariada e multivariada dos dados.</p>

	<p>Principais conclusões: i) a análise bivariada mostra que existem dependências significativas entre as atitudes do investidor de ISR e os fatores demográficos de gênero, de nível educacional e de riqueza; ii) a análise multivariada indica que os fatores demográficos não são os mais importantes para explicar as atitudes do investidor de ISR, no entanto, em alguns casos o gênero e o volume de investimento apresentam uma influência significativa; iii) a composição da carteira, as preferências retorno-risco-liquidez dos investidores e o horizonte temporal, são variáveis que afetam significativamente o percentual de ISR no portfólio e a disposição de sacrificar o retorno; iv) um incentivo consideravelmente importante para a realização de ISR é a expectativa de um alto desempenho financeiro.</p>
<p>Mollet e Ziegler (2014)</p>	<p>Período abordado: de 1998 até 2009.</p> <p>Composição da amostra: desempenho da sustentabilidade corporativa considerando-se três portfólios nos mercados de ações dos Estados Unidos e da Europa.</p> <p>Método utilizado: análise descritiva dos portfólios seguida pela estimação do modelo Carhart de quatro fatores para cada um deles.</p> <p>Principais conclusões: i) existem retornos anormais insignificantes para o desempenho dos ISR nos mercados dos Estados Unidos e da Europa; ii) os mercados de ISR são corretamente avaliados pelos seus participantes, no entanto, não se pode descartar a possibilidade de que existam ineficiências antes do ano de 1998; iii) os processos de aprendizagem dos participantes dos mercados considerados, em anos anteriores a 1998, podem ser responsáveis pela eliminação de possíveis erros nas expectativas dos investidores associados ao desempenho da sustentabilidade corporativa.</p>
<p>Lean, Aang e Smyth, (2015)</p>	<p>Período abordado: de janeiro de 2001 até dezembro de 2011.</p> <p>Composição da amostra: 500 fundos de ISR do mercado europeu e 248 fundos de ISR do mercado norte-americano.</p> <p>Método utilizado: estimação do desempenho dos fundos com base nos modelos de Fama-French e de Carhart.</p>

	<p>Principais conclusões: i) o modelo de Fama-French mostra que os fundos de ISR da Europa e da América do Norte superam os seus <i>benchmarks</i> de mercado; ii) o modelo de Carhart evidencia que os fundos de ISR norte-americanos têm um desempenho superior ao dos fundos de ISR europeus, além da presença de um efeito <i>momentum</i> no mercado da América do Norte; iii) os investidores interessados em fundos socialmente responsáveis não precisam sacrificar o desempenho financeiro dos seus investimentos para satisfazerem as suas preocupações ambientais, sociais e éticas.</p>
--	---

Fonte: Elaboração própria (2018).

Em síntese, os ISR permitem que os investidores gerenciem os seus fundos de forma sustentável ao considerar fatores ambientais, sociais e de governança corporativa dentro de uma rigorosa estrutura de análise financeira (LEAN; ANG; SMYTH, 2015; TRIPATHI; BHANDARI, 2015). Além disso, permitem que os acionistas incentivem uma mudança do comportamento corporativo estimulando as empresas a alinharem os seus objetivos em conformidade a padrões mais éticos (PEIFER, 2012). Esses investimentos, segundo Hebb, Louche e Hachigian (2014), repousam sob três pilares:

- i. A estratégia de triagem, que pode ser positiva, quando adicionam-se em um portfólio de investimento as ações das empresas consideradas as melhores da classe ou do setor, ou negativa, quando excluem-se de uma carteira de investimento as ações das organizações que não atendem aos padrões éticos, ambientais, sociais e de governança do investidor;
- ii. A advocacia dos acionistas, por meio da qual utilizam-se os direitos concedidos aos acionistas da empresa a fim de avançar em padrões éticos, ambientais, sociais e de governança dentro da corporação, podendo variar entre *proxies* de votação, envolver diretamente a administração da companhia, apresentar as resoluções dos acionistas minoritários ou montar campanhas ativas;
- iii. O investimento comunitário, através do qual o investidor, intencionalmente, investe em oportunidades que têm impacto positivo nas comunidades, o que pode incluir microfinanças, habitação acessível, tecnologias limpas, entre outras possibilidades.

Ao atribuir-se importância para as questões ambientais, sociais e de governança corporativa, cria-se valor para um novo perfil de investidores interessados não apenas em

retornos de natureza econômica, mas também na preservação do meio ambiente e na construção de uma sociedade menos desigual. Os investidores de ISR deparam-se com um *trade-off*, no qual são conduzidos, muitas vezes, a escolherem entre maximizar os retornos financeiros ou atingir determinados ganhos não financeiros.

2.8 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE EMPRESARIAL

A sustentabilidade está cada vez mais evidente nos mercados de capitais e apresenta consequências para as atividades de investimento e para as missões das bolsas de valores globais (CUNHA; SAMANEZ, 2013; CUNHA; SAMANEZ, 2014). Um efeito importante disso é o surgimento de uma nova modalidade de investimentos, o investimento socialmente responsável, que visa principalmente incluir fatores de governança ambiental, social e corporativa nas atividades tradicionais desenvolvidas nesse âmbito (CUNHA; SAMANEZ, 2013; CUNHA; SAMANEZ, 2014).

Com efeito, diversos índices de sustentabilidade empresarial têm sido propostos por diferentes organizações do mercado financeiro. O objetivo dessa prática é oferecer uma referência para os investidores que integram considerações sobre a sustentabilidade na composição das suas carteiras, além de fornecer uma plataforma de participação efetiva para as empresas que desejam implementar práticas sustentáveis nas suas operações (OH; PARK; GHOURI, 2013).

Esses índices buscam prover os investidores com um portfólio teórico composto por ações de companhias que apresentam um compromisso de renome com a responsabilidade socioambiental (ORSATO et al., 2015). Além disso, estão associados às bolsas de valores com a capacidade de suprir o mercado com informações relativas à sustentabilidade corporativa das empresas neles listadas, auxiliando nos processos de tomada de decisão dos investidores (ORSATO et al., 2015).

Essa inovação no mercado financeiro decorre do aumento dos fundos de ISR, que estimulam a criação de indicadores para avaliar o seu desempenho e para destacar as empresas comprometidas com a responsabilidade socioambiental (ORTAS; BURRITT; MONEVA, 2013; ORSATO et al., 2015). A tendência de criação de índices de sustentabilidade tem início na década de 1990 nos Estados Unidos com o lançamento do *Domini 400 Social Index*, sendo, posteriormente, apresentados o *Dow Jones Sustainability North America Index* e o *Dow Jones Sustainability Index* (DJSI) (ORTAS; BURRITT; MONEVA, 2013; ORSATO et al., 2015). Na Europa surgem o *Dow Jones Sustainability Europe Index*, o *Dow Jones Sustainability Eurozone*

Index e o *FTSE4Good Europe Index* (ORTAS; BURRITT; MONEVA, 2013; ORSATO et al., 2015). Em Joanesburgo o *Socially Responsible Index* (SRI) e no Brasil o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) (ORTAS; BURRITT; MONEVA, 2013; ORSATO et al., 2015) e mais recentemente o Índice Carbono Eficiente (ICO₂).

Quando as bolsas de valores lançam esses índices, os seus objetivos principais implicam promover a sustentabilidade nas estratégias corporativas e estimular a divulgação do desempenho da ASG das empresas (CUNHA; SAMANEZ, 2013). As organizações privadas, por sua vez, visam fornecer soluções de investimento aos seus clientes contribuindo para o desenvolvimento de produtos de ISR, como os fundos de investimento e os fundos negociados em bolsa (CUNHA; SAMANEZ, 2013).

O desenvolvimento de mercados específicos para os nichos de ISR está concentrado nas questões relacionadas às mudanças climáticas, uma vez que o compromisso global de mitigação tem resultado na implementação de sistemas de controle de emissões de gases de efeito estufa, introduzindo mercados de carbono específicos para as bolsas de valores (CUNHA; SAMANEZ, 2013). Um exemplo disso é o surgimento do Índice Carbono Eficiente (ICO₂), lançado em 2010 no Brasil através de uma iniciativa conjunta entre a Bolsa de Mercadorias e de Futuros da Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (BM&FBOVESPA, 2017).

A origem do ICO₂ fundamenta-se nas preocupações do mundo com o aquecimento global, um dos desafios da humanidade nesse século (BM&FBOVESPA, 2017). Esse indicador é composto pelas ações das companhias participantes do Índice Brasil 50 (IBrX-50) que aceitaram participar da iniciativa adotando práticas transparentes com relação às suas emissões de gases efeito estufa (BM&FBOVESPA, 2017). O ICO₂ considera como critérios de ponderação das ações das empresas componentes, o seu grau de eficiência em emissões de GEE e o *free float* (total de ações em circulação) de cada uma delas (BM&FBOVESPA, 2017).

O principal objetivo para a criação do ICO₂ consiste em incentivar as empresas emissoras das ações mais negociadas a aferir, a divulgar e a monitorar as suas emissões de GEE, preparando-se, dessa forma, para atuarem em uma economia de baixo carbono (BM&FBOVESPA, 2017). Além disso, o Índice busca prover o mercado com um indicador que tem a sua performance resultante de um portfólio balizado por fatores que incorporam as questões relacionadas às mudanças climáticas (BM&FBOVESPA, 2017).

O ICO₂ é um índice de retorno total que visa atuar como o indicador do desempenho médio das cotações dos ativos pertencentes à carteira do IBrX-50, considerando as emissões de GEE das empresas participantes (BM&FBOVESPA, 2017). Os critérios de inclusão no Índice

são: i) pertencer à carteira IBrX-50; ii) aderir formalmente à iniciativa do ICO₂; e iii) reportar os dados do inventário anual de GEE de acordo com o nível de abrangência e o prazo definidos pela BM&FBOVESPA (BM&FBOVESPA, 2017). Os critérios de exclusão do Índice são: i) deixar de atender a qualquer um dos critérios de inclusão; e ii) passar a integrar a lista de situação especial durante o prazo de vigência da carteira (BM&FBOVESPA, 2017).

2.9 TEORIA MODERNA DO PORTFÓLIO E HIPÓTESE DE MERCADOS EFICIENTES

O processo de seleção de um portfólio pode ser dividido em duas etapas. A primeira inicia-se com a observação e a experiência, encerrando-se com as crenças do investidor sobre o desempenho futuro dos títulos disponíveis (MARKOWITZ, 1952). A segunda começa com as convicções relevantes sobre a performance futura dos ativos e termina com a escolha da carteira desejada pelo investidor (MARKOWITZ, 1952).

Na medida em que os investidores estão preocupados com o risco e com o retorno dos seus investimentos, um elemento subjacente à análise de otimização é a incerteza, a qual pode ser reduzida com base em um processo de diversificação da carteira (MARKOWITZ, 1991). Nesse âmbito analítico, qualquer regra de comportamento que não esteja fundamentada na superioridade de um portfólio diversificado, deve ser imediatamente rejeitada (MARKOWITZ, 1952; MARKOWITZ, 1991).

O retorno de um portfólio consiste em uma soma ponderada de variáveis aleatórias, em que o próprio investidor pode atribuir determinados pesos a elas (MARKOWITZ, 1952). O risco desse portfólio é mensurado através da sua variância, comumente utilizada como uma medida de dispersão da média esperada (MARKOWITZ, 1952).

Considerando-se a existência de probabilidades fixas para a média e para a variância, o investidor pode escolher entre diversas combinações possíveis de retorno esperado e risco (MARKOWITZ, 1952). A escolha eficiente é aquela que privilegia a maior média e a menor variância, ou seja, a que possibilita, simultaneamente, maximizar o retorno e minimizar o risco (MARKOWITZ, 1952; MARKOWITZ, 1991).

Segundo a abordagem da teoria moderna do portfólio, uma vez que o risco consiste na variância do retorno, a partir da sua mensuração pode-se formar uma carteira de ativos altamente capaz de maximizar o retorno para um determinado nível de risco (MARKOWITZ, 1952). Nesse processo, a diversificação do portfólio mostra-se eficiente em reduzir a exposição do investidor ao risco, mesmo que ele esteja sujeito a auferir um retorno menor (MARKOWITZ, 1952).

Em síntese, o objetivo geral da teoria moderna do portfólio é o gerenciamento de carteiras de investimento através da seleção de portfólios eficientes e capazes de maximizar os retornos esperados, dado um nível de risco (SOUZA; BIGNOTTO, 1999). Para a construção de um portfólio eficiente, supõe-se que o investidor seja avesso ao risco, ou seja, se há dois investimentos com o mesmo retorno esperado, mas com riscos diferentes, o investidor prefere aquele com menor risco (SOUZA; BIGNOTTO, 1999).

Em uma perspectiva ampliada, o principal papel do mercado de capitais consiste em alocar a propriedade do capital social de uma economia (FAMA, 1970). O ideal seria que nesse mercado os preços fornecessem sinais precisos para a alocação dos recursos, refletindo plenamente e rapidamente todas as informações disponíveis (FAMA, 1970). Um mercado que apresenta essas características é chamado de eficiente (FAMA, 1970).

Quando um mercado é eficiente, os agentes econômicos são altamente beneficiados no desenvolvimento das operações típicas do sistema. Nesse contexto, as decisões sobre produção e investimento das empresas são facilitadas, ao mesmo tempo em que os investidores conseguem escolher corretamente entre as ações que representam a propriedade das corporações sob o pressuposto de que os preços dos títulos, em qualquer momento, refletem plenamente todas as informações disponíveis (FAMA, 1970).

O estudo empírico da eficiência de um mercado fundamenta-se na possibilidade de existirem três formas de ajuste de preços, ou de eficiência, a fraca, a semiforte e a forte. Em cada uma delas, as informações incorporadas aos processos decisórios dos agentes econômicos recebem tratamentos analíticos distintos. A principal consequência dessas hipóteses é que o preço de mercado de uma ação ou de um outro título, deve corresponder ao seu preço correto ou preço teórico, de tal modo que o que de fato determina tais preços é o seu risco (LIMA, 2003).

A forma fraca considera exclusivamente o comportamento dos preços ou retornos passados (FAMA, 1970; SAMPAIO, 2012). Ela estabelece que a tendência dos preços passados dos títulos não permite a antecipação dos seus preços futuros (LIMA, 2003). O teste de eficiência da forma fraca, depois chamado de teste de previsão, se refere à possibilidade da previsibilidade baseada nas informações históricas dos retornos dos ativos, que são igualmente conhecidas por todos (BONE; RIBEIRO, 2002).

A forma semiforte contempla o comportamento dos preços ou retornos passados e as informações publicamente disponíveis para todos os indivíduos atuantes no mercado (FAMA, 1970; SAMPAIO, 2012). Ela estabelece que os preços dos títulos se ajustam quase que imediatamente às informações significativas, como os lucros das empresas, a distribuição de

dividendos, entre outras julgadas como relevantes (LIMA, 2003). O teste de eficiência da forma semiforte, depois chamado de teste de eventos, considera que as informações são públicas e rapidamente absorvidas pelos agentes participantes do mercado de capitais, fazendo com que não exista a possibilidade de se auferir retornos anormais (BONE; RIBEIRO, 2002).

A forma forte congrega o comportamento dos preços ou retornos passados, as informações publicamente disponíveis para todos os indivíduos participantes do mercado e as informações privadas acessíveis à totalidade dos agentes (FAMA, 1970; SAMPAIO, 2012). Considera-se que nenhum integrante do mercado possa auferir retornos esperados superiores aos demais, por possuir acesso monopolista a algum tipo de informação (FAMA, 1970).

A forma forte estabelece, portanto, que não existe algo, como um grupo especial de investidores, que tenha acesso privilegiado às informações que não se reflitam imediatamente nos preços de mercado (LIMA, 2003). O teste de eficiência da forma forte, depois chamado de teste de informação privada, divide as informações em públicas e privadas, sendo que as informações privadas se referem à possibilidade de monopólio ou concessão privilegiada (BONE; RIBEIRO, 2002).

Uma vez que os agentes participantes do mercado estão interessados em antecipar o comportamento futuro dos preços das ações e com isso terem a possibilidade aumentar os seus ganhos potenciais, algumas abordagens são aplicadas para prever essa dinâmica. As três principais são a teoria técnica, a teoria do valor fundamental e a teoria dos passeios aleatórios.

A teoria técnica procura prever os preços futuros das ações com base nos padrões do seu comportamento passado, reconhecendo situações de recorrência provável (FAMA, 1995). A teoria do valor fundamental busca prever os preços futuros das ações a partir da suposição de um preço de equilíbrio, associado a um potencial de ganhos de segurança que, por sua vez, depende de fatores elementares, como a qualidade da gestão, as perspectivas para o setor e para a própria economia, entre outras (FAMA, 1995).

Uma terceira vertente, amplamente defendida por economistas e estatísticos, considera que os preços das ações seguem um formato de passeio aleatório. Segundo essa concepção, em um mercado eficiente existe uma considerável quantidade de agentes racionais e maximizadores de lucro, concorrendo ativamente entre si e buscando prever os preços futuros das ações individuais (FAMA, 1995). Nesse cenário, marcado pela incerteza, as informações atualizadas são significativamente importantes e estão disponíveis de forma rápida e gratuita para todos os indivíduos integrantes do mercado (FAMA, 1995).

Na teoria dos passeios aleatórios, a concorrência acirrada entre os inúmeros participantes do mercado conduz a uma situação na qual os preços reais das ações individuais

refletem instantaneamente os efeitos da informação, seja ela decursiva de eventos passados ou futuros (FAMA, 1995). Há, portanto, uma ampla sensibilidade e adaptabilidade às novas informações e circunstâncias.

A incerteza faz com que os preços futuros nunca sejam determinados com exatidão, originando discrepâncias entre os valores intrínsecos e os preços reais (FAMA, 1995). Como existe uma ampla gama de ações pertencentes a agentes que concorrem entre si em um mercado eficiente, o preço real passeia aleatoriamente sobre o seu valor intrínseco (FAMA, 1995).

Em razão da incerteza, o ajustamento instantâneo em um mercado eficiente faz com que as sucessivas mudanças de preços nas ações individuais sejam independentes, caracterizando assim, um passeio aleatório (FAMA, 1995). A teoria dos passeios aleatórios implica que uma série de alterações nos preços das ações não apresenta memória, ou seja, o seu comportamento passado não pode ser utilizado para prever o seu comportamento futuro com exatidão (FAMA, 1995).

As principais características da hipótese de mercados eficientes podem ser elucidadas da seguinte forma, segundo Aldrighi e Milanez (2005):

- i. Há uma quantidade suficientemente grande de agentes participantes nos mercados de ativos financeiros, capaz de impedir que a decisão isolada de um deles afete os preços, caracterizando uma situação de concorrência perfeita;
- ii. Os investidores têm preferências estáveis, formando expectativas racionais e maximizando as suas utilidades esperadas;
- iii. Supondo que os investidores são racionais e têm igual acesso às informações e aos mercados, as suas expectativas são homogêneas;
- iv. Novas informações sobre os ativos financeiros surgem aleatoriamente, ensejando ajustes instantâneos nos portfólios dos investidores;
- v. Não há fricções nas operações desenvolvidas, de modo que os ativos são homogêneos, divisíveis e não envolvem custos de transação;
- vi. Os agentes participantes do mercado são capazes de processar de forma ótima todas as informações disponíveis.

De acordo com a hipótese de mercados eficientes, o preço de um ativo financeiro reflete todas as informações disponíveis, sendo a melhor estimativa do seu valor fundamental (ALDRIGHI; MILANEZ, 2005). Em uma situação na qual o preço do ativo financeiro se afaste do seu valor fundamental, operações de arbitragem promovem a sua convergência (ALDRIGHI; MILANEZ, 2005). Nesse contexto, o mercado acionário atua como o ator

coletivo que centraliza as informações, as interpreta e produz uma estimativa pertinente dos valores fundamentais, sendo essa a sua função social (LIMA, 2003).

As estimativas do valor fundamental de mercado com base nas informações disponíveis, são passíveis de serem obtidas na medida em que os investidores considerem nos seus processos de tomada de decisão, um conjunto de parâmetros específicos (LIMA, 2003). Esse, envolve a organização produtiva, a gestão, a situação da concorrência, a evolução das técnicas e a conjuntura macroeconômica, referidos como sendo os fundamentos dos quais depende o valor básico das ações (LIMA, 2003).

Assim, supõe-se que as antecipações dos agentes estão voltadas primordialmente para a economia real, de modo que se o preço de um título é superior ao valor básico calculado pelo investidor, ele deve cair e vice-versa (LIMA, 2003). Essa estratégia, caracterizada como fundamentalista, ampara-se na visão walrasiana convencional, identificada pela lei da oferta e da demanda (LIMA, 2003).

Sob a hipótese de mercados eficientes, ao analisar-se o comportamento dos preços das ações, não pode ser verificado um padrão previsível para eles (SAMPAIO, 2012). Esse movimento aleatório dos preços indica um mercado eficiente que funciona bem, e não um mercado irracional (SAMPAIO, 2012).

A primeira geração de estudos da eficiência de mercado na sua forma fraca, analisou a correlação serial da mudança de preço (SAMPAIO, 2012). Não sendo encontrada nenhuma correlação serial nas séries temporais utilizadas, constataram-se evidências da hipótese de passeio aleatório, confirmando a eficiência do mercado (SAMPAIO, 2012).

A segunda geração de estudos da eficiência de mercado na sua forma fraca, aplicou metodologias econométricas superiores em relação à primeira, encontrando evidências que rejeitaram a hipótese de passeio aleatório (SAMPAIO, 2012). Isso indica que o mercado é ineficiente, sendo que tal característica poderá ser explicada pela presença de *overshooting*, de *noise trading* e de risco e retorno que variam com o tempo (SAMPAIO, 2012). Um dos testes sobre a hipótese de passeio aleatório amplamente utilizado nessas pesquisas é o teste da razão da variância (SAMPAIO, 2012).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo aborda-se a metodologia da pesquisa. São explicitados os métodos aplicados na condução do estudo no âmbito da análise e da interpretação dos dados utilizados. Especificamente, realiza-se uma explanação sobre os procedimentos estatísticos e econométricos que norteiam a modelagem de séries temporais univariadas, com ênfase em modelos para o tratamento da volatilidade.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O fazer ciência tem como finalidade a obtenção da verdade através da comprovação de hipóteses, que são as pontes entre a observação da realidade e a teoria científica (LAKATOS; MARCONI, 2011). Isso implica a realização de um procedimento formal denominado pesquisa, que requer um método de pensamento reflexivo e um tratamento científico (LAKATOS; MARCONI, 2011). O Quadro 4 explicita o enquadramento metodológico da presente pesquisa, especificamente, a sua tipologia segundo determinados critérios de classificação.

Quadro 4 – Enquadramento metodológico da pesquisa

Critério de classificação	Tipo de pesquisa
Abordagem	Quantitativa
Natureza	Aplicada
Objetivos	Descritiva
	Explicativa
Procedimentos	Bibliográfica
	Documental

Fonte: Elaboração própria (2017).

A realização de uma pesquisa necessita da utilização de um método científico. O método representa um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem ao pesquisador alcançar o objetivo perseguido com maior segurança e economia, gerando conhecimentos válidos e verdadeiros (LAKATOS; MARCONI, 2011).

Na presente pesquisa utiliza-se o método indutivo. A indução é um processo por meio do qual se parte de dados particulares, suficientemente constatados, e então infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas (LAKATOS; MARCONI, 2011).

A metodologia que norteia a presente pesquisa enfatiza duas incursões, a saber: i) promover uma investigação de caráter teórico objetivando a discussão da problemática que envolve a inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro através dos ISR, especificamente o ICO₂; e ii) realizar um diagnóstico empírico do ICO₂ e do Ibovespa, para uma posterior análise comparativa entre eles, a partir da aplicação de métodos específicos para o estudo de séries temporais financeiras.

3.2 FONTE E BASE DE DADOS DA PESQUISA

Os dados utilizados na presente pesquisa referem-se aos valores dos retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa, calculados a partir das pontuações de fechamento diárias desses Índices, considerando-se os pregões do período de 01 de setembro de 2010 até 30 de setembro de 2017. Esses dados estão disponíveis para consulta e coleta no site da BM&FBOVESPA.

O período abordado no estudo tem início em 01 de setembro de 2010, que representa a data de início da série histórica de cotações do ICO₂. O seu término, em 30 de setembro de 2017, justifica-se pela necessidade de incorporar à pesquisa o conjunto de dados mais recente possível, com tempo hábil para a realização, a entrega e a apresentação dessa dissertação conforme o prazo estipulado pelo programa. Assim, a amostra original totaliza 1.755 observações, retiradas dos pregões diários do ICO₂ e do Ibovespa. Utilizam-se os *softwares* Action Stat, Eviews 9.0, Gretel e Stata 12.0 para a modelagem empírica dos dados.

Na prática, aconselha-se trabalhar com retornos ao invés de preços, uma vez que são livres de escala e apresentam propriedades estatísticas importantes, como a estacionariedade e a ergodicidade, além de conterem informações que atendem aos interesses dos investidores (MORETTIN; TOLOI, 2004; AIUBE, 2013). O retorno de um ativo são as mudanças nos preços esperados como uma fração do seu preço inicial, ou seja, ele mede a receita, positiva ou negativa, em relação ao tamanho do investimento inicial (SAMPAIO, 2012).

Algumas regularidades estatísticas sobre as séries temporais de retornos têm sido observadas em um número considerável de estudos empíricos em diversos mercados (AIUBE, 2013). Segundo Morettin e Toloi (2004) e Aiube (2013), os principais fatos estilizados sobre os retornos financeiros são:

- i. As séries de retornos normalmente são estacionárias, com fraca dependência linear e forte dependência não linear;
- ii. As séries de retornos apresentam agrupamentos de volatilidade ao longo do tempo, com presença de heterocedasticidade condicional;
- iii. Os retornos geralmente são não autocorrelacionados;
- iv. Os quadrados dos retornos são autocorrelacionados, apresentando uma correlação de defasagem pequena e, posteriormente, uma queda lenta das demais;
- v. A distribuição incondicional dos retornos apresenta caudas mais pesadas do que as da normal, com excesso de curtose e presença de leptocurtose.

As séries temporais financeiras em nível geralmente são passeios aleatórios, não apresentando estacionariedade e ergodicidade, enquanto que em primeira diferença, normalmente são estacionárias e ergódicas (GUJARATI; PORTER, 2011). Pela ótica da hipótese de mercados eficientes, os retornos de um ativo não podem ser perfeitamente previsíveis, uma vez que são aleatórios (SAMPAIO, 2012).

Considerando-se que P_t é a série da pontuação de fechamento diária de cada Índice, então a sua variação entre dois períodos é obtida da seguinte forma:

$$P_t = P_t - P_{t-1}.$$

Aplicando-se o logaritmo natural à cada série, define-se o retorno (*ln retorno*), composto continuamente por:

$$R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}).$$

Ou seja, o procedimento para a obtenção dos retornos (R_t) dos Índices consiste em aplicar o logaritmo natural (*ln*) aos valores das séries em nível (P_t), que são as suas pontuações de fechamento diárias, e depois realizar a primeira diferença ($\ln(P_{t-1})$).

O roteiro geral para o tratamento dos dados segue algumas etapas, a saber: i) analisam-se as estatísticas descritivas das séries de retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa; ii) aplicam-se os procedimentos econométricos para a modelagem de séries temporais univariadas às duas séries de retornos diários; e iii) comparam-se os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa com base nos resultados anteriormente encontrados.

3.3 MODELAGEM DE SÉRIES TEMPORAIS UNIVARIADAS ESTACIONÁRIAS

Uma série temporal consiste em um conjunto de observações ordenadas temporalmente ($y_1, y_2, y_3, \dots, Y_t$). No estudo de uma série temporal, a série original, Y_t , pode ser decomposta

em quatro componentes não observáveis: um componente de tendência (T_t), um componente de sazonalidade (S_t), um componente de ciclo (C_t) e um componente aleatório ou irregular (U_t), satisfazendo o seguinte modelo de decomposição: $Y_t = T_t + S_t + C_t + U_t$ (MORETTIN; TOLOI, 2004; BUENO, 2011).

A tendência indica o sentido do deslocamento da série ao longo do tempo (WERNER; RIBEIRO, 2003). A sazonalidade implica um movimento ondulatório de curta duração, geralmente inferior a um ano (WERNER; RIBEIRO, 2003). O ciclo consiste em um movimento ondulatório que ao longo de vários anos tende a ser periódico (WERNER; RIBEIRO, 2003). O ruído aleatório, ou termo de erro, compreende a variabilidade intrínseca aos dados e não pode ser modelado (WERNER; RIBEIRO, 2003).

Antes de proceder conforme a metodologia elaborada por Box, Jenkins e Reinsel (1994) para modelar uma série temporal univariada, é imprescindível verificar a condição de estacionariedade. A partir da constatação de um comportamento estacionário, pode-se empreender inferências estatísticas sobre os parâmetros estimados com base na realização de um processo estocástico (BUENO, 2011).

A estacionariedade significa que a série temporal se desenvolve no tempo aleatoriamente em torno de uma média fixa, refletindo alguma forma de equilíbrio estável (MORETTIN; TOLOI, 2004). De acordo com Bueno (2011), o processo estocástico apresenta um comportamento estacionário, ou fracamente estacionário, se forem satisfeitas três condições:

- i. Apenas o segundo momento não centrado deve ser finito, ainda que desigual em diferentes períodos;
- ii. A média é igual para todo período, mesmo que a distribuição da variável aleatória se altere ao longo do tempo;
- iii. A variância é igual para todo período e a autocovariância não depende do tempo, mas da distância temporal entre as observações.

Para que uma série temporal seja estacionária, as raízes da sua equação característica devem estar fora do círculo unitário (BUENO, 2011). Visualmente, observa-se um comportamento de estacionariedade se os valores da série flutuam em torno de uma média fixa, com variância constante ao longo do tempo (MORETTIN; TOLOI, 2004; BUENO, 2011).

A inspeção visual da série temporal em nível pode contribuir para o diagnóstico da sua estacionariedade. No entanto, esse procedimento é insuficiente, requerendo a realização de testes estatísticos para inferir sobre a presença ou a ausência de alguma raiz no círculo unitário. No presente estudo, realizam-se os testes Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) e Elliot-

Rothemberg-Stock Dickey-Fuller *Generalized Least Squares* (DF-GLS) sobre as séries de retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa.

O teste KPSS surge como uma alternativa ao baixo poder apresentado pelos testes de raiz unitária desenvolvidos por Dickey e Fuller, o Dickey-Fuller (1979) e o Dickey-Fuller Aumentado (1981), principalmente ante a presença de um componente de médias móveis próximo ao círculo unitário (BUENO, 2011). Assim, esse teste busca distinguir a raiz unitária de séries em que os dados não são suficientemente conclusivos, seguindo a literatura de modelos estruturais com a preocupação de dar uma interpretação econômica aos vários elementos de uma série temporal (BUENO, 2011). No teste KPSS são testadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 = y_t \sim I(0)$$

$$H_1 = y_t \sim I(1)$$

A hipótese nula (H_0) indica que a série temporal (y_t) é integrada de ordem zero ($I(0)$), ou seja, é estacionária uma vez constatada a ausência de raiz no seu círculo unitário, não sendo necessária a aplicação de diferenças para alcançar a sua estacionariedade. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário.

O critério de decisão baseia-se no resultado da estatística ML (Multiplicador de Lagrange). Assim, se o valor estimado da estatística ML é inferior aos valores críticos teóricos, não se rejeita a hipótese nula, evidenciando a ausência de raiz no círculo unitário da série temporal, o que equivale a afirmar que a mesma é estacionária ou $I(0)$.

Ainda com o objetivo de aumentar o poder dos testes de raiz unitária desenvolvidos por Dickey e Fuller (1979, 1981), Elliot, Rothemberg e Stock argumentam que isso pode ser realizado expurgando os termos determinísticos da regressão do teste (BUENO, 2011). Os autores propõem então dois novos testes, o DF-GLS e o ERS-*Point Optimal*, apontando para uma superioridade do DF-GLS em relação ao ERS-*Point Optimal* (BUENO, 2011). Desse modo, adicionalmente ao teste KPSS, no presente estudo realiza-se também o teste DF-GLS, em que são testadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 = y_t \sim I(1)$$

$$H_1 = y_t \sim I(0)$$

A hipótese nula (H_0) indica que a série temporal (y_t) é integrada de ordem um ($I(1)$), ou seja, é não estacionária uma vez constatada a presença de raiz no seu círculo unitário, sendo necessária a aplicação de diferenças para alcançar a sua estacionariedade. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário.

O critério de decisão baseia-se no resultado da estatística t , que é a estatística DF-GLS. Assim, se o valor estimado da estatística t é inferior aos valores críticos teóricos, não se aceita a hipótese nula, evidenciando a ausência de raiz no círculo unitário da série temporal, o que equivale a afirmar que a mesma é estacionária ou $I(0)$.

Além da estacionariedade, é necessário também que a série temporal apresente ergodicidade para proceder à sua modelagem (BUENO, 2011). Essa propriedade possibilita calcular as médias em cada instante de tempo, bastando uma única realização para viabilizar o cálculo (BUENO, 2011).

As condições de estacionariedade podem ser verificadas de forma empírica e teórica, ao contrário das de ergodicidade (BUENO, 2011). Desse modo, considera-se que para haver um comportamento ergódico, a série deve ser fracamente estacionária (BUENO, 2011). Constatadas essas duas propriedades, pode-se proceder à modelagem de uma série temporal e realizar inferências estatísticas sobre os parâmetros estimados. No entanto, destaca-se que é importante ainda identificar se estão presentes ou ausentes nas séries em análise os componentes de tendência e de sazonalidade determinística.

Assim, para observar se existe ou não tendência nas séries de retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa, realizam-se os testes não paramétricos Cox-Stuart, Wald-Wolfowitz e Mann-Kendall. Esses testes permitem constatar se há ou não elementos de longo prazo relacionados à série temporal. Ambos testes apresentam as seguintes hipóteses:

$$H_0 = \nexists \text{ tendência}$$

$$H_1 = \exists \text{ tendência}$$

A hipótese nula (H_0) indica a não existência do componente de tendência na série temporal. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Para observar se existe ou não sazonalidade determinística nas séries de retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa, realizam-se os testes não paramétricos Kruskal-Wallis e Friedman, considerando-se comprimentos sazonais de 6 meses e de 12 meses. Esses testes permitem evidenciar se há ou não a ocorrência de padrões regulares sobre a série temporal ao longo do tempo. Os dois testes apresentam as seguintes hipóteses:

$$H_0 = \nexists \text{ sazonalidade determinística}$$

$$H_1 = \exists \text{ sazonalidade determinística}$$

A hipótese nula (H_0) indica a não existência do componente de sazonalidade determinística na série temporal. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

A modelagem de séries temporais univariadas estacionárias baseia-se em um ciclo iterativo, no qual a escolha da estrutura do modelo fundamenta-se nos próprios dados (MORETTIN; TOLOI, 2004). Essa estratégia requer a realização de algumas etapas que compõem a metodologia elaborada por Box, Jenkins e Reinsel (1994), as quais são: i) a especificação; ii) a identificação; iii) a estimação; iv) o diagnóstico; e v) a previsão.

A especificação implica considerar uma classe de modelos para a análise dos dados. Na presente pesquisa, faz-se uso dos modelos paramétricos, nos quais o número de parâmetros é finito. Inicialmente, empregam-se os modelos da classe ARMA para remover a correlação serial dos retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa, se esta existir. Posteriormente, utilizam-se os modelos da classe ARCH para modelar a volatilidade dos retornos diários desses Índices.

A identificação consiste em detectar as ordens p e q do modelo com base na inspeção visual dos gráficos da função de autocorrelação parcial (FACP) e da função de autocorrelação (FAC) da série temporal. A FACP é o gráfico da autocorrelação parcial contra a defasagem, obtido através de uma técnica de filtragem que elimina as correlações implícitas entre duas observações e determina a ordem p de um processo autorregressivo (AR) (BUENO, 2011). A FAC é o gráfico da autocorrelação contra a defasagem e define a ordem q de um processo de médias móveis (MA) (BUENO, 2011). A análise gráfica, a partir do correlograma, é realizada conforme os critérios explicitados no Quadro 5.

Quadro 5 – Critérios para a identificação das ordens p e q de modelos candidatos

Modelo	FAC	FACP
AR (p)	Decai	Truncada na defasagem p
MA (q)	Truncada na defasagem q	Decai
ARMA (p, q)	Decai de $j > q$	Decai de $j > p$

Fonte: Elaborado com base em Bueno (2011, p. 47).

Antes da identificação, deve-se observar se os dados amostrados são ou não autocorrelacionados por tratar-se de duas séries de retornos. Isso implica verificar se a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é ou não estatisticamente significativa. Em

caso afirmativo, existe algum processo de memória implícito na série, o qual deve ser modelado através de modelos da classe ARMA para então proceder à modelagem da sua volatilidade por meio de modelos da classe ARCH. Um teste amplamente utilizado para esse fim é o Ljung-Box, que testa conjuntamente as autocorrelações e as autocorrelações parciais sob as seguintes hipóteses:

$$H_0 = \sum_{j=1}^n \rho_j = 0$$

$$H_1 = \sum_{j=1}^n \rho_j \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais (ρ_j) é estatisticamente não significativa, permitindo afirmar que não há memória presente na série temporal. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Após identificados alguns modelos candidatos por meio da FAC e da FACP, pode-se passar à próxima etapa, a de estimação, na qual os parâmetros desses modelos são estimados, normalmente, pelo método de máxima verossimilhança. Torna-se importante verificar a significância estatística dos coeficientes, aplicando um teste que segue as seguintes hipóteses:

$$H_0 = \beta_j = 0$$

$$H_1 = \beta_j \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica que o coeficiente estimado é estatisticamente igual a zero, ou seja, não significativo. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Posteriormente, deve-se realizar o diagnóstico dos resíduos gerados por cada um dos modelos, com o intuito de verificar se estes geraram um ruído branco. Uma sequência de erros $\{\varepsilon_t\}$ é um ruído branco (RB) se cada valor nela contido apresentar média zero ($E(\varepsilon_t) = 0$), variância constante ($E(\varepsilon_t^2) = \sigma^2$) e autocorrelação igual a zero ($E(\varepsilon_t \varepsilon_{t-j}) = 0; j \neq 0$) (BUENO, 2011). O processo que satisfaz a essas três condições é um ruído branco, podendo ser denotado como $RB = (0, \sigma^2)$.

Resumidamente, um ruído branco é, ao mesmo tempo, temporalmente homogêneo, estacionário e sem memória à medida que não é correlacionado a qualquer realização da própria série (BUENO, 2011). A constatação de um processo que atenda a essas condições requer a realização de testes estatísticos, os quais são explicitados em maiores detalhes a seguir.

Para verificar se persiste ou não alguma memória implícita na série temporal, aplica-se novamente o teste Ljung-Box, dessa vez sobre os resíduos gerados por cada um dos modelos estimados. As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

$$H_0 = \sum_{j=1}^n \hat{\rho}_j = 0$$

$$H_1 = \sum_{j=1}^n \hat{\rho}_j \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais ($\hat{\rho}_j$) é estatisticamente não significativa, o que equivale a afirmar que os resíduos gerados pelo modelo são não autocorrelacionados. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Para verificar se os resíduos são ou não normalmente distribuídos, aplica-se o teste Jarque-Bera, que examina se os momentos dos erros gerados são ou não iguais aos da distribuição normal, com assimetria e curtose iguais a zero e três, respectivamente (BUENO, 2011). As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

$$H_0 = E(\varepsilon_t^s)^3 = 0 \wedge E(\varepsilon_t^s)^4 = 3$$

$$H_1 = E(\varepsilon_t^s)^3 \neq 0 \wedge E(\varepsilon_t^s)^4 \neq 3$$

A hipótese nula (H_0) indica que os momentos dos resíduos gerados pelo modelo são iguais aos da distribuição normal, com assimetria e curtose iguais a zero e três, respectivamente. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

No entanto, é importante considerar a existência de controvérsias com relação ao teste Jarque-Bera para se constatar a normalidade, uma vez que a não aceitação da hipótese nula indica não normalidade, mas a não rejeição não necessariamente sugere normalidade, e sim que o terceiro e o quarto momentos da distribuição empírica coincidem com os da normal (BUENO, 2011). Por essa razão, no presente estudo utiliza-se de forma complementar o teste Doornik-Hansen, que testa a normalidade multivariada dos dados amostrados. As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

$$H_0 = E(\varepsilon_t^s) = N(0, \sigma^2)$$

$$H_1 = E(\varepsilon_t^s) \neq N(0, \sigma^2)$$

A hipótese nula (H_0) indica que os resíduos amostrados apresentam normalidade multivariada. A hipótese alternativa (H_1) afirma o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Para verificar se a variância dos resíduos é ou não homocedástica, ou seja, constante, pode-se proceder aplicando-se os testes Ljung-Box e ARCH-LM sobre os erros quadráticos. As hipóteses do teste Ljung-Box nesse caso, são as seguintes:

$$H_0 = \sum_{j=1}^n \hat{\rho}_j = 0$$

$$H_1 = \sum_{j=1}^n \hat{\rho}_j \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais ($\hat{\rho}_j$) dos resíduos quadráticos é estatisticamente não significativa, ou seja, os erros elevados ao quadrado são não autocorrelacionados, de forma que não há sinais de heterocedasticidade condicional. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

O teste específico e amplamente utilizado para constatar se os resíduos apresentam ou não variância constante, é o ARCH-LM. Esse teste verifica se a covariância condicional é ou não constante, sendo sensível a especificações incorretas na equação da média (BUENO, 2011). As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

$$H_0 = \beta_j = 0$$

$$H_1 = \beta_j \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica a ausência de efeito ARCH nos resíduos, isto é, afirma que a sua variância é constante ao longo do tempo, não havendo heterocedasticidade condicional. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Constatada a eliminação de qualquer memória na série, cada modelo candidato torna-se um modelo concorrente. Os modelos candidatos que não geraram um ruído branco são descartados. Para escolher entre os modelos concorrentes que produziram um ruído branco, utilizam-se os critérios de informação, ou penalização, que permitem encontrar o número ideal de parâmetros de um modelo através da minimização de uma função baseada nos resíduos, penalizada pelo número de regressores (BUENO, 2011).

A utilização dos critérios de informação justifica-se pelo fato de que, frequentemente, dois ou mais modelos candidatos produzem resíduos que os procedimentos analíticos indicam

ser um ruído branco. Portanto, normalmente encontra-se mais de um modelo concorrente, devendo-se optar por apenas um. O melhor modelo será o mais parcimonioso, ou seja, aquele que apresentar o menor número de parâmetros, sendo capaz de gerar menos imprecisão nas estimativas (BUENO, 2011).

Existem três principais critérios de informação, os quais são: i) a estatística de Schwarz, denotada por BIC (*Bayesian Information Criterion*) ou SBC (*Schwarz Bayesian Criterion*); ii) a estatística de Akaike, representada por AIC (*Akaike Information Criterion*); e iii) a estatística de Hannan-Quinn, referida por HQ (*Hannan-Quinn*). O Quadro 6 apresenta a definição matemática de cada um desses critérios de informação.

Quadro 6 – Definição matemática dos critérios de informação BIC, AIC e HQ

Critério de informação	Definição matemática
BIC	$\ln \widehat{\sigma}^2 + n \frac{\ln T}{T}$
AIC	$\ln \widehat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T}$
HQ	$\ln \widehat{\sigma}^2 + n \frac{2}{T} \ln \ln T$

Fonte: Elaborado com base em Bueno (2011, p. 52).

Um maior número de parâmetros estimados no mesmo período da amostra implica um menor erro, sendo penalizado na segunda parcela da estatística (BUENO, 2011). Com efeito, desejam-se os mais baixos valores BIC, AIC e HQ possíveis. Uma regra prática e usual sobre a escolha de qual critério utilizar, baseada no número de observações (T), sugere que: se $T \geq 16$, então, $BIC \leq HQ \leq AIC$ (BUENO, 2011).

Um modelo mais parcimonioso apresenta menos parâmetros estimados, fazendo com que a incerteza resultante da estimação seja menor (BUENO, 2011). O BIC e o HQ são consistentes assintoticamente e tendem a escolher modelos mais parcimoniosos do que o AIC, que funciona melhor em pequenas amostras, não obstante seja viesado para escolher modelos sobreparametrizados (BUENO, 2011). Como o BIC é considerado mais forte do que o HQ, na presente pesquisa a escolha entre os modelos concorrentes baseia-se nesse critério, optando-se, assim, pelos modelos que apresentarem os valores mais baixos para essa estatística de Schwarz.

Após escolhido o modelo que melhor ajusta os dados da amostra, pode-se realizar a previsão de valores futuros da série temporal em estudo. Essa etapa é relativamente simples, uma vez que consiste basicamente em prever um passo à frente e, com base no resultado obtido, prever o passo seguinte e assim sucessivamente (BUENO, 2011).

Depois de realizadas as previsões e definidos os seus intervalos de confiança, algumas medidas de desempenho são aplicadas para avaliar a sua qualidade, deixando-se, para isso, uma porção de observações de fora da amostra (BUENO, 2011). Entre as principais, tem-se o erro quadrado médio (MSE), o erro absoluto médio (MAE) e o erro absoluto percentual médio (MAPE), definidos, respectivamente, a seguir:

$$MSE_{t,H} = \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^H e_t^2(h)}{H}};$$

$$MAE_{t,H} = \frac{\sum_{h=1}^H |e_t(h)|}{H};$$

$$MAPE_{t,H} = \sum_{h=1}^H \left| \frac{e_t(h)}{Hy_{t+h}} \right|.$$

É importante ressaltar que nesse processo a variância aumenta com o horizonte de previsão, não obstante isso ocorra a taxas decrescentes (BUENO, 2011). Desse modo, destaca-se que não é objetivo nessa pesquisa realizar uma previsão para a volatilidade futura dos retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa, uma vez que terá transcorrido um período de tempo considerável entre a coleta dos dados, a finalização do estudo e a sua publicação.

3.4 MODELOS DA CLASSE ARMA

Inicialmente, utilizam-se os modelos da classe ARMA para remover a correlação serial, ou a memória, dos retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa, se esta existir. Enfatiza-se que a literatura especializada recomenda como procedimento inicial para a modelagem da volatilidade de uma série temporal financeira, a estimação de um modelo ARMA (p,q). Após isso, deve-se verificar se os resíduos gerados apresentam heterocedasticidade condicional, a condição necessária para a aplicação dos modelos da classe ARCH.

Os modelos da classe ARMA permitem estimar uma equação para a média de uma série temporal. A seguir, são sucintamente descritas as formas gerais de um processo autorregressivo (AR), de um processo de médias móveis (MA) e de um processo autorregressivo de médias móveis (ARMA).

3.4.1 Processo autorregressivo (AR)

Um processo autorregressivo para p defasagens, AR (p), pode ser generalizado da seguinte forma:

$$y_t = c + \sum_{j=1}^p \varphi_j y_{t-j} + \varepsilon_t.$$

Em um processo autorregressivo, y_t depende dos seus valores passados, y_{t-j} , e do erro contemporâneo, ε_t . Se a dependência for de y_{t-1} , então tem-se um AR (1), se for de y_{t-2} , tem-se um AR (2), e assim sucessivamente. Na equação descrita, c representa uma constante e φ_j são os parâmetros autorregressivos do modelo.

3.4.2 Processo de médias móveis (MA)

Um processo de médias móveis para q defasagens, MA (q), pode ser generalizado da seguinte forma:

$$y_t = \mu + \sum_{j=0}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t.$$

Em um processo de médias móveis, y_t depende dos seus erros passados, ε_{t-j} , e do erro contemporâneo, ε_t . Se a dependência for de ε_{t-1} , então tem-se um MA (1), se for de ε_{t-2} , tem-se um MA (2), e assim sucessivamente. Na equação descrita, μ representa uma constante e θ_j são os parâmetros de médias móveis do modelo.

3.4.3 Processo autorregressivo de médias móveis (ARMA)

Um processo autorregressivo de médias móveis para p e q defasagens, ARMA (p, q), consiste na combinação de um processo AR (p) e de um processo MA (q) e pode ser generalizado da seguinte forma:

$$y_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + \sum_{j=0}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t.$$

Em um processo autorregressivo de médias móveis, y_t depende, simultaneamente, dos seus valores defasados, y_{t-i} , dos seus erros passados, ε_{t-j} , e do erro contemporâneo, ε_t . No

modelo descrito, c representa uma constante, φ_i são os parâmetros autorregressivos e θ_j são os parâmetros de médias móveis.

3.5 MODELOS DA CLASSE ARCH

Devido à importância atribuída ao risco e à incerteza na teoria econômica moderna, desenvolveram-se técnicas que possibilitam a modelagem temporal de variâncias e de covariâncias (BUENO, 2011). Esses modelos, que constituem a classe ARCH, baseiam-se na estimação da variância condicional, também chamada de volatilidade, a qual é considerada como não sendo constante ao longo do tempo (MORETTIN; TOLI, 2004; BUENO, 2011).

As dependências temporais de ordem superior ao primeiro momento condicional, até então tratadas como perturbações aleatórias, expressam a existência de aglomerações com alternância entre períodos de baixa e de alta volatilidade (BUENO, 2011). Com efeito, o principal objetivo dos modelos da classe ARCH consiste em modelar esse comportamento (MORETTIN; TOLI, 2004).

A volatilidade de uma série temporal, que não pode ser medida diretamente, manifesta-se de formas distintas. Ela aparece em grupos de maior ou de menor variabilidade, evolui continuamente no tempo, é normalmente estacionária e reage de modo diferente a choques positivos e negativos (MORETTIN; TOLI, 2004).

A principal contribuição dos modelos da classe ARCH consiste na distinção de uso entre momentos de segunda ordem condicionais e não condicionais (BUENO, 2011). Enquanto a matriz de covariância não condicional para as variáveis de interesse pode ser invariante no tempo, a matriz de covariância condicional depende de estados passados da natureza (BUENO, 2011).

Os modelos da classe ARCH são especialmente apropriados para modelar séries temporais financeiras, comumente os retornos (MORETTIN; TOLOI, 2004). Um fato empírico estilizado sobre elas é a ausência de distribuição normal padrão, decorrente da elevada probabilidade de eventos extremos (BUENO, 2011).

A seguir, são apresentados os modelos da classe ARCH utilizados nessa pesquisa, a saber: i) o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo (ARCH); ii) o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado (GARCH); iii) o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado com Limiar (TGARCH); e iv) o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado Exponencial

(EGARCH). São também brevemente retomadas as etapas de detecção, de especificação, de identificação, de estimação, de diagnóstico e de previsão para esses modelos.

3.5.1 Modelo ARCH

O modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo, ARCH (q), desenvolvido por Engle (1982), considera ε_t como sendo um processo estocástico real em tempo discreto, condicional à informação em $t - 1$ (BUENO, 2011). Ao estimar-se um modelo ARMA (p, q), se o erro gerado segue um padrão ARCH (q), então ele pode ser definido da seguinte forma:

$$\varepsilon_t = \sigma_t u_t, u_t \sim i. i. d. (0, 1),$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2,$$

em que:

ε_t = é o resíduo gerado pelo modelo ARMA (p, q);

σ_t^2 = é a variância condicional;

ω = é o intercepto;

α_i = é o coeficiente de reação da volatilidade;

ε_{t-i}^2 = são os resíduos quadráticos defasados.

Analiticamente, o intercepto do modelo, ω , retrata o nível médio da volatilidade da variância condicional (FREITAS; SÁFADI, 2015). Isso implica, portanto, que a constante representa a variância incondicional da série em questão (FREITAS; SÁFADI, 2015).

O coeficiente de reação, α_i , indica o tempo necessário para que um choque na volatilidade possa ser percebido na série de retornos (FREITAS; SÁFADI, 2015). Esse parâmetro capta a influência que um choque ocorrido no período passado ($t - 1$) tem sobre a variância condicional do período presente (t) (CASTRO; SILVA JÚNIOR, 2013). Assim, o mesmo pode ser analisado da seguinte forma:

- i. Quanto mais alto for o valor de α_i , maior será a influência que um choque ocorrido no passado terá sobre a volatilidade da série no presente;
- ii. Quanto mais baixo for o valor de α_i , menor será a influência que um choque ocorrido no passado terá sobre a volatilidade da série no presente.

Uma forma alternativa e complementar de interpretar esse coeficiente assume que ele traduz a intensidade com que a volatilidade da série de retornos reage aos movimentos do mercado (MOTA; OLIVEIRA, 2015). Assim, o mesmo pode ser analisado da seguinte forma:

- i. Quanto mais alto for o valor de α_i , maior será a intensidade com que a volatilidade da série reage aos movimentos do mercado;
- ii. Quanto mais baixo for o valor de α_i , menor será a intensidade com que a volatilidade da série reage aos movimentos do mercado.

Não se sabe, no entanto, se a divergência de interpretações se trata apenas de uma questão semântica por parte dos autores dessa pesquisa. Dessa forma, assume-se, por conveniência, que os coeficientes de reação estimados nos modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) têm essa dupla possibilidade de análise.

Não é necessário que a distribuição do erro, u_t , seja normal, bastando ser identicamente e independentemente distribuída (*i. i. d.*) para que os momentos assintóticos da série sejam iguais aos da normal (BUENO, 2011). O fato da sua variância ser igual a 1 não implica perda de generalidade, uma vez que o ajuste se dá nos coeficientes de σ_t^2 , a própria volatilidade (BUENO, 2011).

Algumas restrições paramétricas são impostas ao modelo para garantir a estacionariedade e a positividade da variância condicional. Para que a série seja estacionária, é necessário que: $\sum_{i=1}^q \alpha_i < 1$, isto é, as raízes da polinomial $(1 - \sum_{i=1}^q \alpha_i L^i)$ devem fora do círculo unitário (BUENO, 2011). Para que a variância condicional seja sempre positiva, é preciso que: $\omega > 0$ e $\alpha_i \geq 0, \forall i$, para $i = 1, 2, 3, \dots, q$ (BUENO, 2011).

3.5.2 Modelo GARCH

O modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado, GARCH (p,q), proposto por Bollerslev (1986), surge em resposta ao fato do modelo ARCH (q) necessitar de muitos parâmetros para que possa ser corretamente ajustado, implicando perda de parcimônia (BUENO, 2011). Essa generalização consiste em um modelo potencialmente mais parcimonioso do que o ARCH (q), de forma que $q_{ARCH} > q_{GARCH} + p_{GARCH}$ (BUENO, 2011).

No modelo GARCH (p,q), a equação da variância é expressa da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2,$$

em que:

σ_t^2 = é a variância condicional;

ω = é o intercepto;

α_i = é o coeficiente de reação da volatilidade;

ε_{t-i}^2 = são os resíduos quadráticos defasados;

β_j = é o coeficiente de persistência da volatilidade;

σ_{t-1}^2 = é a variância defasada.

No modelo GARCH (p,q), o coeficiente de reação, α_i , revela a influência que um choque ocorrido no período presente (t) tem sobre a volatilidade do período futuro ($t + 1$) (FREITAS; SÁFADI, 2015; CASTRO; SILVA JÚNIOR, 2013). Alguns autores colocam esse parâmetro como sendo uma medida da extensão da volatilidade presente no comportamento futuro da série (ARAUJO; LEITE FILHO, 2012).

O coeficiente de persistência, β_j , indica o quanto da volatilidade do período passado ($t - 1$) persiste sobre a volatilidade no período presente (t) (FREITAS; SÁFADI, 2015; CASTRO; SILVA JÚNIOR, 2013). Alguns autores colocam esse parâmetro como sendo uma medida da inércia da volatilidade passada no comportamento presente da série (FREITAS; SÁFADI, 2015; CASTRO).

A soma dos coeficientes $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j$ consiste em uma medida que captura a velocidade de convergência da volatilidade para o nível da sua média histórica, ou seja, mostra o quão volátil é a série em questão (FREITAS; SÁFADI, 2015). Analiticamente, a sua interpretação pode ser realizada da seguinte forma:

- i. Valores próximos de zero indicam que um choque na volatilidade tem efeitos curtos sobre o comportamento futuro da série, com a variância condicional convergindo para a sua média histórica de forma rápida, ou seja, o choque não demora para se dissipar, enfraquecendo rapidamente;
- ii. Valores próximos de 1 indicam que um choque na volatilidade tem efeitos longos sobre o comportamento futuro da série, com a variância condicional convergindo para a sua média histórica de forma lenta, ou seja, o choque demora para se dissipar, enfraquecendo lentamente;
- iii. Valores iguais a 1 constituem um caso especial do modelo GARCH (p,q), o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado Integrado, IGARCH (p,q), um processo que reflete a existência de memória longa na volatilidade, de modo

que a variância não condicional não existe, não obstante ainda seja estritamente estacionário.

Algumas restrições paramétricas são impostas ao modelo para garantir a estacionariedade e a positividade da variância condicional. Para que a série seja estacionária, é necessário que: $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$, isto é, as raízes da polinomial $(1 - \sum_{i=1}^q \alpha_i L^i - \sum_{j=1}^p \beta_j L^j)$ devem estar fora do círculo unitário (BUENO, 2011). Para que a variância condicional seja sempre positiva, é preciso que: $\omega > 0$ e $\alpha_i, \beta_i \geq 0, \forall i, j$, para $i, j = 1, 2, 3, \dots, \max[p, q]$ (BUENO, 2011).

O parâmetro de persistência deve ser menor do que a unidade para que a variância condicional exista, ou seja: $\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$ (BUENO, 2011). Ressalta-se que é possível relaxar a condição imposta de que todos os coeficientes do modelo GARCH sejam maiores do que zero, permitindo gerar resultados mais similares à realidade e proporcionando restrições de estimação mais adequadas (BUENO, 2011).

Enfatiza-se que é possível interpretar o modelo GARCH (p, q) como um processo autorregressivo em ε_t^2 , e, devido a sua semelhança com um modelo ARMA $[\max(p, q)]$, a sua identificação pode seguir a metodologia de Box, Jenkins e Reinsel (BUENO, 2011). Cabe ainda ressaltar que no modelo GARCH (p, q) a variância condicional é determinística, pois depende de fatores passados e conhecidos, acarretando que o modelo seja não estocástico, de modo que o que realmente é estocástico são os resíduos quadráticos (BUENO, 2011).

3.5.3 Modelo TGARCH

Os modelos anteriormente descritos, o ARCH (q) e o GARCH (p, q) , supõem que os impactos dos choques aleatórios sejam sempre simétricos, fato que contrasta com a evidência empírica (BUENO, 2011). Com efeito, Zokoïan (1994) propôs o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado com Limiar, TGARCH (p, q, r) , também chamado de Threshold ARCH, que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\sigma_t^a = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^a + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^a + \sum_{k=1}^r \gamma_k d_{(\varepsilon_{t-k} \leq 0)} |\varepsilon_{t-k}|^a,$$

em que:

σ_t^a = é a variância condicional;

a = é o expoente da variância condicional;

ω = é o intercepto;

α_i = é o coeficiente de reação da volatilidade;

ε_{t-i}^a = são os resíduos defasados;

β_j = é o coeficiente de persistência da volatilidade;

σ_{t-j}^a = é a variância defasada;

γ_k = é o coeficiente de simetria da volatilidade;

$d_{(\cdot)}$ = é uma variável *dummy* igual a 1 se o erro satisfaz a condição imposta ($\varepsilon_{t-k} \leq 0$), e 0 caso contrário ($\varepsilon_{t-k} > 0$).

O expoente da variância, a , assume valor numérico igual a 1 para Zokoian (1994) e 2 para Glosten, Jaganathan e Runkle (1993) (BUENO, 2011). Entretanto, também pode ser livre, tornando o modelo ajustado extremamente flexível (BUENO, 2011).

O modelo TGARCH (p,q,r) permite diferenciar o impacto de choques positivos e negativos sobre a volatilidade da série através do parâmetro γ_k . Assim, o coeficiente γ_k ajusta a assimetria dos efeitos de choques sobre a volatilidade e a sua interpretação poder ser realizada da seguinte forma:

- i. Se $\gamma_k = 0$, os choques sobre a volatilidade são simétricos;
- ii. Se $\gamma_k \neq 0$, os choques sobre a volatilidade são assimétricos;
- iii. Se $\gamma_k > 0$, notícias ruins ($\varepsilon_{t-k} < 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade do que notícias boas ($\varepsilon_{t-k} > 0$), de modo que a volatilidade aumenta mais;
- iv. Se $\gamma_k < 0$, notícias boas ($\varepsilon_{t-k} > 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade do que notícias ruins ($\varepsilon_{t-k} < 0$), de modo que a volatilidade aumenta menos.

Considerando-se o modelo TGARCH (1,1,1), o tamanho do impacto de ε_{t-k} sobre a volatilidade da série de retornos depende do seu sinal, variando do seguinte modo:

- i. Se $\gamma_k > 0$ e $\varepsilon_{t-1} < 0$, o impacto sobre σ_t^2 é $\alpha_1 + \gamma_1$;
- ii. Se $\gamma_k < 0$ e $\varepsilon_{t-1} > 0$, o impacto sobre σ_t^2 é α_1 .

Como nos mercados financeiros é comum que períodos de queda nos preços sejam seguidos por uma volatilidade intensa, e que períodos de alta nos preços sejam sucedidos por uma volatilidade não tão intensa, pode existir o chamado efeito alavancagem, ou magnitude. No modelo TGARCH (p,q,r), há evidência de efeito alavancagem se $\gamma_k > 0$ e estatisticamente significativo, demonstrando que choques positivos e choques negativos têm efeitos diferentes sobre a volatilidade dos retornos da série em questão.

Especializando para o TGARCH (1,1,1), algumas restrições paramétricas são impostas ao modelo para garantir a estacionariedade e a positividade da variância condicional. Para que

a variância condicional seja sempre positiva, é preciso que: $\omega > 0$, $\alpha_1 \geq 0$, $\beta_1 \geq 0$ e $\alpha_1 + \gamma_1 > 0$ (BUENO, 2011). Para que a série seja estacionária, é necessário que: $\alpha_1 + \frac{\gamma_1}{2} + \beta_1 < 1$ (BUENO, 2011).

3.5.4 Modelo EGARCH

Considerando-se que choques positivos e negativos têm efeitos diferentes sobre o comportamento da volatilidade de uma série temporal, Nelson (1991) propôs o modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressivo Generalizado Exponencial, EGARCH (p, q, r), que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\ln \sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i [|u_{t-i}| - E(|u_{t-i}|)] + \sum_{j=1}^p \beta_j \ln \sigma_{t-j}^2 + \sum_{k=1}^r \gamma_k u_{t-k},$$

em que:

\ln = é a especificação logarítmica;

σ_t^2 = é a variância condicional;

ω = é o intercepto;

α_i = é o coeficiente de reação da volatilidade;

u_{t-k} = são os resíduos defasados, definidos como $u_t = \frac{\varepsilon_t}{\sigma_t}$;

β_j = é o coeficiente de persistência da volatilidade;

σ_{t-j}^2 = é a variância defasada;

γ_k = é o coeficiente de simetria da volatilidade.

O modelo EGARCH (p, q, r), ao absorver os impactos assimétricos sobre a volatilidade, possibilita que alguns dos seus coeficientes sejam negativos (BUENO, 2011). Isso ocorre devido à especificação logarítmica, que garante uma variância sempre positiva e permite a negatividade dos parâmetros (BUENO, 2011).

O diferencial do modelo EGARCH (p, q, r) em relação aos modelos ARCH (q) e GARCH (p, q) é que, assim como no modelo TGARCH (p, q, r), os efeitos de choques positivos e negativos sobre a volatilidade dos retornos não são tratados como sendo exclusivamente simétricos, o que permite captar se existe ou não o efeito alavancagem. Já em relação ao modelo TGARCH (p, q, r), a originalidade fica por conta da possibilidade de se dispensar a restrição de que os parâmetros estimados sejam sempre positivos no modelo EGARCH (p, q, r). A assimetria, quando existe, vem do sinal de $u_{t-k} = \frac{\varepsilon_{t-k}}{\sigma_{t-k}}$.

O modelo EGARCH (p,q,r) permite diferenciar o impacto de choques positivos e negativos sobre a volatilidade da série temporal através do parâmetro γ_k . Assim, o coeficiente γ_k ajusta a assimetria dos efeitos de choques sobre a volatilidade e a sua interpretação poder ser realizada da seguinte forma:

- i. Se $\gamma_k = 0$, então os impactos são simétricos, de forma que choques positivos e negativos apresentam efeitos iguais sobre a volatilidade;
- ii. Se $\gamma_k \neq 0$, então os impactos são assimétricos, de forma que choques positivos e negativos apresentam efeitos diferentes sobre a volatilidade;
- iii. Se $\gamma_k > 0$, os choques positivos diminuem a volatilidade do modelo;
- iv. Se $\gamma_k < 0$, os choques negativos aumentam a volatilidade do modelo.

A volatilidade tende a aumentar em resposta a notícias ruins, como o excesso de retorno menor do que o esperado, e a diminuir em resposta a notícias boas, como o excesso de retorno maior do que o esperado. Considerando-se o modelo EGARCH $(1,1,1)$, o tamanho do impacto de ε_{t-k} sobre a volatilidade da série de retornos depende do seu sinal, variando do seguinte modo:

- i. Se $\gamma_k > 0$ e $\varepsilon_{t-1} > 0$, o impacto de $\ln\sigma_t^2$ é $\alpha_1 - |\gamma_1|$;
- ii. Se $\gamma_k < 0$ e $\varepsilon_{t-1} < 0$, o impacto de $\ln\sigma_t^2$ é $\alpha_1 + |\gamma_1|$.

No modelo EGARCH (p,q,r) , existe evidência de efeito alavancagem se $\gamma_k < 0$ e estatisticamente significativo. Isso demonstra que choques positivos e choques negativos têm efeitos diferentes sobre a volatilidade dos retornos da série em questão.

3.5.5 Procedimentos para a aplicação dos modelos da classe ARCH

A literatura especializada sugere que o modelo GARCH (p,q) assemelha-se ao modelo ARMA $[max(p,q)]$. Assim, a FAC e a FACP devem sugerir se há ou não presença de heterocedasticidade condicional na série do mesmo modo que permitem que se tenha uma noção sobre ordens p e q de um modelo ARMA (BUENO, 2011).

O procedimento inicia-se com a obtenção dos quadrados dos erros estimados através do modelo ARMA (p,q) , considerando a variância condicional como sendo constante (BUENO, 2011). Em seguida, calculam-se a FAC e a FACP dos resíduos quadráticos, realizando-se também as suas representações gráficas (BUENO, 2011). O efeito ARCH está presente se os valores das autocorrelações e das autocorrelações parciais forem estatisticamente diferentes de

zero (BUENO, 2011). Isso pode ser constatado aplicando-se os testes Ljung-Box e ARCH-LM, conforme anteriormente descrito nesse capítulo.

Uma vez identificada a presença de heterocedasticidade condicional nos retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa, implicando que a sua variância não é constante ao longo do tempo, são então considerados alguns modelos da classe ARCH para proceder à modelagem da volatilidade dessas séries. Ressalta-se que os modelos escolhidos são supostos como sendo suficientemente capazes de adequarem-se aos objetivos propostos nessa pesquisa.

Em contraste ao modelo ARMA (p,q), no modelo GARCH (p,q), a FAC sugere a ordem máxima de autorregressores (p) e a FACP a ordem máxima de médias móveis (q) (BUENO, 2011). A identificação e a escolha do modelo que melhor ajusta a volatilidade da série normalmente é realizada com base nos critérios de informação BIC, AIC e HQ, procedimento amplamente recomendado pela literatura especializada (BUENO, 2011).

Mesmo com a possibilidade de recorrer à observação da FAC e da FACP dos resíduos quadráticos para identificar as ordens dos modelos candidatos, normalmente encontra-se a quantidade ideal de parâmetros por tentativa e erro, tendo como norte o princípio da parcimônia (MORETTIN; TOLOI, 2004; BUENO, 2011). No presente estudo, tem-se preferência pela estimação de modelos de ordens baixas que eliminem a heterocedasticidade condicional da série temporal.

A escolha entre os modelos estimados é baseada no critério de informação BIC, por escolher modelos mais parcimoniosos do que o AIC e o HQ. O diagnóstico dos resíduos para verificar se persiste ou não a heterocedasticidade condicional nos retornos, é realizado através do teste ARCH-LM.

Para a etapa de estimação, geralmente utiliza-se o método de máxima verossimilhança, de modo que a sua implementação pressupõe que se construa uma hipótese sobre a verdadeira distribuição, garantindo a consistência e a normalidade assintótica dos estimadores em virtude de determinadas condições de regularidade (BUENO, 2011). Ressalta-se que mesmo na falta de normalidade dos resíduos, pode-se utilizar a distribuição normal, caracterizando uma estimação de quase máxima verossimilhança (BUENO, 2011). No entanto, devido a presença de leptocurtose, alguns autores recomendam fazer uso da distribuição t -Student ou da distribuição do erro generalizado (BUENO, 2011).

Como espera-se que os retornos diários do ICO_2 e do Ibovespa não apresentem distribuição normal, com presença de leptocurtose, característica comum observada em séries de retornos, no presente estudo opta-se por utilizar a distribuição t -Student, com ν graus de

liberdade, no processo de estimação. Emprega-se esse procedimento para não comprometer a eficiência dos parâmetros estimados.

Supondo que a distribuição dos resíduos siga uma t -Student, a função de máxima verossimilhança assume o seguinte formato:

$$L = L(\Theta; y_t) = \prod_{t=k}^T \left[\frac{\Gamma(\frac{v+1}{2})}{\Gamma(\frac{v}{2})\sqrt{(v-2)\pi\sigma_t^2}} \exp\left(1 + \frac{\varepsilon_t^2}{(v-2)\sigma_t^2}\right)^{-\frac{v+1}{2}} \right],$$

em que $\Gamma(\cdot)$ é a função gama e $v > 2$ (BUENO, 2011). Quando $v \rightarrow \infty$, a distribuição converge para a normal (BUENO, 2011).

A previsão com modelos da classe ARCH é obtida recursivamente, em que a acuidade depende do conjunto de informações disponível, seguindo-se os mesmos passos dos modelos da classe ARMA (BUENO, 2011). Prevê-se um passo à frente e, com o resultado obtido, realiza-se o seguinte e assim sucessivamente (BUENO, 2011). Pode-se avaliar a qualidade dos resultados previstos com base nas medidas de desempenho anteriormente descritas, o MSE, o MAE e o MAPE. Novamente, ressalta-se que não é objetivo dessa pesquisa empreender uma previsão sobre o comportamento futuro da volatilidade dos retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa.

3.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS SÉRIES DE RETORNOS DIÁRIOS DO ICO₂ E DO IBOVESPA

A partir dos resultados encontrados através da estimação das estatísticas descritivas e dos modelos econométricos, empreende-se uma análise comparativa entre os retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa. Esse procedimento pressupõe a escolha de um modelo da classe ARCH, com base no critério de informação BIC, para estabelecer termos de comparação entre as duas séries em questão. Ressalta-se que mesmo sendo escolhido um modelo geral, pode-se recorrer a outros que apresentem uma boa qualidade de ajustamento para complementar o diagnóstico.

De forma adicional, estima-se a correlação linear existente entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa, calculando-se o coeficiente de correlação de Pearson (r_{XY}). Esse coeficiente possibilita mensurar o grau de relacionamento linear entre duas variáveis e pode variar entre -1 e +1 ($-1 \leq r_{XY} \leq +1$) ou, se expresso em porcentagem, entre -100,00% e +100,00%.

O coeficiente de correlação tem uma interpretação puramente matemática enquanto força de associação linear entre duas variáveis. Isso não implica, portanto, uma relação de causa e efeito entre elas. De acordo com Rocha (2015), a correlação linear pode ser:

- i. Direta ou positiva, quando os valores crescentes/decrescentes, da variável X estiverem associados aos valores crescentes/decrescentes da variável Y;
- ii. Inversa ou negativa, quando os valores crescentes/decrescentes da variável X estiverem associados aos valores decrescentes/crescentes da variável Y;
- iii. Nula, quando os valores das variáveis X e Y não apresentam relação linear, sendo elas independentes.

Conforme Rocha (2015), a interpretação do coeficiente de correlação pode ser realizada da seguinte forma:

- i. Se $r_{XY} = +1$, a correlação é máxima positiva;
- ii. Se $r_{XY} = -1$, a correlação é máxima negativa;
- iii. Se $r_{XY} = 0$, a correlação é nula;
- iv. Se $r_{XY} < \pm 0,30$, a correlação entre as variáveis é fraca;
- v. Se $r_{XY} > \pm 0,70$, a correlação entre as variáveis é forte;
- vi. Se $0,30 \leq r_{XY} \leq 0,70$, a correlação entre as variáveis é moderada.

Estimar um valor para a correlação linear entre duas variáveis não implica, necessariamente, a sua existência. Portanto, para inferir de forma segura se há ou não uma correlação linear entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa, realiza-se um teste estatístico, no qual são testadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 = \rho = 0$$

$$H_1 = \rho \neq 0$$

A hipótese nula (H_0) indica a ausência de correlação linear entre as duas variáveis. A hipótese alternativa (H_1) sugere o contrário. O critério de decisão baseia-se na análise do p-valor, considerando-se um nível de significância de 5,00%.

Após a constatação de que existe uma correlação linear estatisticamente significativa entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa, pode-se avaliar a qualidade desse ajustamento através do coeficiente de determinação (R^2), o qual é obtido elevando-se o coeficiente de correlação (r_{XY}) ao quadrado. O coeficiente de determinação pode variar entre zero e +1 ($0 \leq R^2 \leq +1$) e indica a proporção da variável X que é explicada pela variável Y através de uma função ajustada. Quanto mais próximo de +1 estiver o seu valor, melhor o ajuste, e quanto mais próximo de zero estiver o seu valor, pior o ajuste.

De modo geral, a análise dos p-valores (p) na presente pesquisa considera um nível de significância (α) de 5,00%, o qual reflete um nível de confiança ($1 - \alpha$) de 95,00% sobre as inferências realizadas. Assim, quando $p > \alpha$, não se rejeita a hipótese nula, e quando $p < \alpha$, não se aceita a hipótese nula.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DA DISCUSSÃO DA PESQUISA

No presente capítulo são apresentados os resultados e a discussão da pesquisa. Inicialmente, explicita-se a análise empírica dos dados amostrados, a qual é seguida de uma explanação quanto às potencialidades do ICO₂ em contribuir para a transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono.

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO₂

A análise das estatísticas descritivas do ICO₂ permite uma caracterização inicial da amostra, composta por 1.754 observações, que representam os retornos diários Índice no período de 01 de setembro de 2010 até 30 de setembro de 2017. Na Tabela 1 são apresentadas as principais medidas de posição (média, mediana, máximo e mínimo), de dispersão ou variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação) e de momentos da série (assimetria e curtose), além dos resultados dos testes de normalidade realizados (Jarque-Bera e Doornik-Hansen).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do ICO₂

Estatística	Coefficiente	p-valor
Amostra	1.754	
Média	0,0003	
Mediana	0,0002	
Máximo	0,0621	
Mínimo	-0,0964	
Desvio Padrão	0,0129	
Coeficiente de Variação	40,80%	
Coeficiente de Assimetria	-0,2731	
Coeficiente de Curtose	6,4803	
Jarque-Bera	907,0624	0,0000
Doornik-Hansen	400,3230	0,0000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Observa-se que o ICO_2 apresenta um retorno médio diário positivo de 0,0003 para o período abordado na pesquisa, com uma variação absoluta de 0,0129 e com uma variação relativa de 40,80%. O coeficiente de assimetria, de -0,2731, sugere que a curva de frequências da distribuição é desviada para a esquerda, sendo assimetricamente negativa. O coeficiente de curtose, de 6,4803, revela que a curva de frequências da distribuição é mais alta do que a da normal, demonstrando a presença de leptocurtose (Tabela 1).

O teste Jarque-Bera, pelo qual decide-se pela não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (p-valor = 0,0000), mostra que os momentos da série não são iguais aos da distribuição normal, com assimetria (-0,2731) e curtose (6,4803) diferentes de zero e de três, respectivamente. O teste Doornik-Hansen, pelo qual opta-se pela não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (p-valor = 0,0000), indica que os retornos diários do ICO_2 não apresentam normalidade multivariada (Tabela 1).

As evidências dos testes Jarque-Bera e Doornik-Hansen de que a amostra não tem características de uma distribuição normal, corrobora com os resultados indicados pelos coeficientes de assimetria e de curtose. Portanto, pode-se considerar que os retornos diários do ICO_2 exibem distribuição de frequências leptocúrtica, com cauda pesada mais longa à esquerda, conforme o esperado por tratar-se de uma série de retornos.

Entre os fatos estilizados sobre as propriedades estatísticas das séries temporais de retornos, constam a estacionariedade e a ergodicidade. Como a volatilidade evolui continuamente no tempo, ela pode ser considerada estacionária. Para confirmar isso, realizam-se os testes KPSS e DF-GLS com o intuito de verificar se existe ou não a presença de alguma raiz no círculo unitário da série de retornos diários do ICO_2 .

Tabela 2 – Resultados dos testes de raiz unitária para a série de retornos diários do ICO_2

Nível de significância	Teste KPSS		Teste DF-GLS	
	Valores críticos	Estatística	Valores críticos	Estatística
	teóricos	ML	teóricos	<i>t</i>
1%	0,7390	0,0912	-2,5662	-2,9591
5%	0,4630		-1,9410	
10%	0,3470		-1,6165	

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Os testes KPSS e DF-GLS confirmam a ausência de raiz no círculo unitário da série de retornos diários do ICO_2 , sinalizando a sua estacionariedade uma vez que no primeiro não se rejeita a hipótese nula e no segundo não se aceita a hipótese nula. Esses resultados são obtidos observando-se que as estatísticas dos dois testes são menores do que os valores críticos teóricos para aos níveis de significância de 1%, de 5% e de 10%, demonstrando não haver necessidade de realizar diferenciação na série para torná-la estacionária (Tabela 2).

Tabela 3 – Resultados dos testes de tendência para a série de retornos diários do ICO_2

Crítérios	Teste Cox-Stuart	Teste Wald-Wolfwitz	Teste Mann-Kendall
Estatística	455	-0,7643	0,0135
p-valor	0,2798	0,2223	0,3961

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Os testes Cox-Stuart, Wald-Wolfwitz e Mann-Kendall, realizados para verificar a presença ou a ausência do componente de tendência na série de retornos diários do ICO_2 , sugerem a não rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (Tabela 3). Portanto, pode-se inferir de forma segura que não há tendência estatisticamente significativa na série, de modo que não existem elementos de longo prazo atuando sobre os retornos diários do ICO_2 .

Tabela 4 – Resultados dos testes de sazonalidade determinística para a série de retornos diários do ICO_2

Comprimento sazonal	Teste Kruskal-Wallis		Teste Friedman	
	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor
6 meses	7,4497	0,1892	9,4383	0,0928
12 meses	10,3434	0,4997	13,3561	0,2706

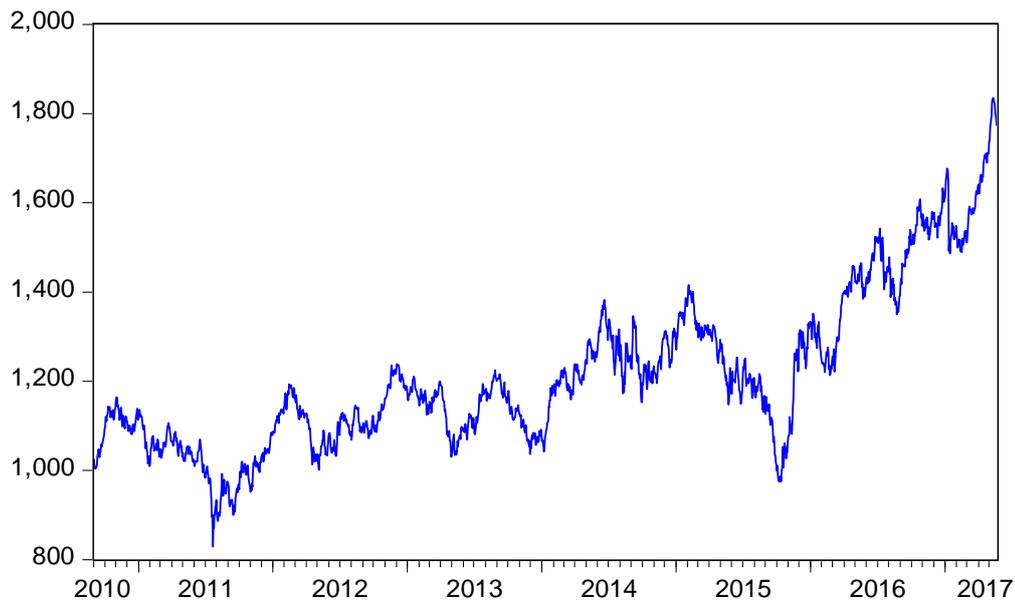
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Os testes Kruskal-Wallis e Friedman, realizados para verificar a presença ou a ausência do componente de sazonalidade determinística na série de retornos diários do ICO_2 , sugerem a não rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (Tabela 4). Assim, pode-se

inferir com segurança que não há sazonalidade determinística estatisticamente significativa na série, de modo que não existem padrões regulares, ou ondas de curta duração, nos retornos diários do ICO_2 considerando-se comprimentos sazonais de 6 meses e de 12 meses.

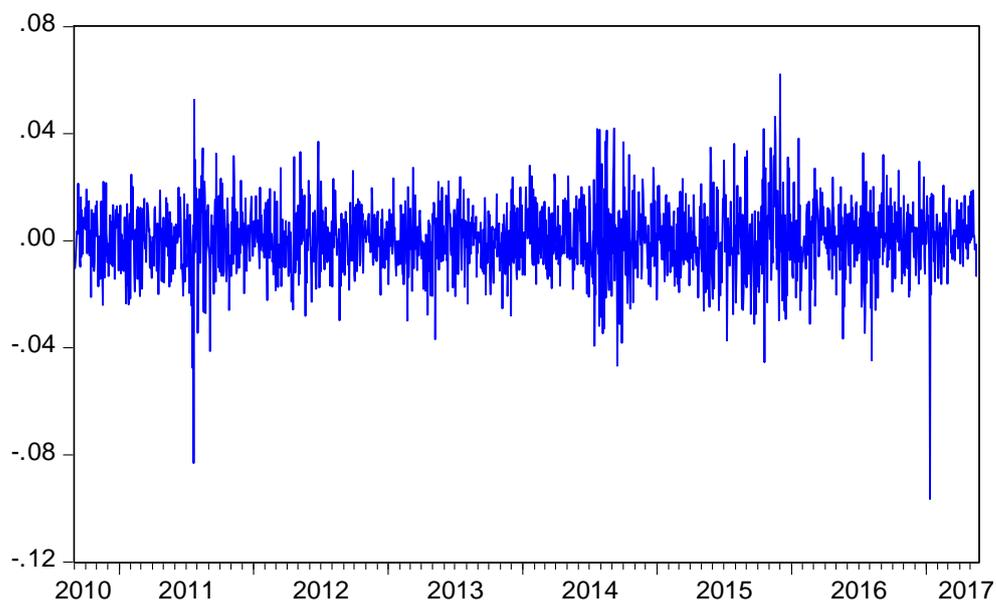
A Figura 1 representa graficamente a série em nível da pontuação de fechamento diária do ICO_2 . A sua inspeção visual revela que o comportamento dos dados amostrados é instável ao longo do tempo, com alternância entre períodos de alta e de baixa além de apresentar uma tendência de crescimento. Pode-se observar que o segundo semestre de 2011 exibe a menor cotação do ICO_2 durante todo o período analisado, seguido do quarto trimestre de 2015. Nos anos de 2016 e de 2017, verificam-se as maiores cotações do Índice.

Figura 1 – Série da pontuação de fechamento diária do ICO_2



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

A Figura 2 representa graficamente a série de retornos diários do ICO_2 . A sua inspeção visual indica a existência de estabilidade na série. Esse comportamento sugere a sua estacionariedade, uma vez que os seus valores oscilam acima e abaixo de uma média fixa, corroborado com os testes de raiz unitária KPSS e DF-GLS. Ressalta-se que essa é uma característica amplamente evidenciada em estudos empíricos sobre as séries de retornos financeiros em diversos mercados (AIUBE, 2013).

Figura 2 – Série dos retornos diários do ICO₂

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

A Figura 2 evidencia a presença de *clusters* de volatilidade na série de retornos diários do ICO₂, em que há uma aglomeração decursiva dos movimentos ocorridos no mercado. As maiores aglomerações de volatilidade são observadas nos anos de 2011, de 2014 e de 2015, com intervalos de relativa tranquilidade entre um e outro. Constata-se ainda a presença de picos elevados nos anos de 2011, de 2015 e de 2017, que representam choques, positivos e negativos, ocorridos na volatilidade, os quais exercem uma influência sobre o seu comportamento durante alguns períodos até que se retorne à estabilidade.

4.2 ANÁLISE ECONOMETRICA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO₂

A inspeção visual do correlograma dos retornos diários do ICO₂ indica que existem autocorrelações e autocorrelações parciais rompendo o intervalo de confiança. O teste Ljung-Box apresenta p-valores maiores ou iguais a 0,0120. Esses resultados sugerem a não aceitação da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, demonstrando a presença de algum tipo de memória na série, a qual deve ser eliminada através da estimação de modelos da classe ARMA.

Observando-se a FAC e a FACP, constata-se que a definição das ordens p e q do modelo ARMA (p,q) é inconclusiva conforme os padrões descritos na metodologia dessa pesquisa. Portanto, a identificação dos modelos candidatos ARMA (p,q) consiste em um processo de tentativa e erro baseado nas defasagens estatisticamente significativas, as quais contêm algum tipo de informação relevante que deve ser captada através da modelagem da dependência linear da série em questão.

A partir disso, estimam-se alguns modelos candidatos ARMA (p,q) , pelo método da máxima verossimilhança, buscando-se por aqueles que eliminem a memória implícita na série ajustando adequadamente os retornos diários do ICO_2 . Os modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados são então comparados com base no critério de informação BIC, sendo escolhido aquele que apresentar o menor valor numérico para essa estatística.

4.2.1 Estimação de modelos da classe ARMA para a série de retornos diários do ICO_2

Aplicando-se os modelos da classe ARMA à série de retornos diários do ICO_2 , encontraram-se alguns modelos concorrentes que captaram a memória presente, gerando resíduos não autocorrelacionados. Cada um desses modelos apresenta uma equação característica para a média dos dados amostrados.

Ressalta-se que nenhum dos modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados apresenta constante estatisticamente significativa ao nível de significância de 5,00%, o que justifica a sua exclusão no ajustamento desses modelos. Os resultados finais dos principais modelos concorrentes ARMA (p,q) ajustados estão explicitados no Quadro 7.

Quadro 7 – Modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2

Modelo	Parâmetros	p-valor	BIC
ARMA (4,0)	$\varphi_3 = -0,0607$ $\varphi_7 = -0,0431$ $\varphi_{27} = 0,0525$ $\varphi_{43} = -0,0796$	0,0023 0,0497 0,0258 0,0003	-5,8458
ARMA (3,0)	$\varphi_3 = -0,0571$ $\varphi_{18} = -0,0464$ $\varphi_{43} = -0,0809$	0,0040 0,0213 0,0003	-5,8476
ARMA (0,4)	$\theta_3 = -0,0552$ $\theta_7 = -0,0489$ $\theta_{18} = -0,0570$ $\theta_{43} = -0,0869$	0,0061 0,0285 0,0055 0,0001	-5,8463
ARMA (0,3)	$\theta_3 = -0,0562$ $\theta_{18} = -0,0532$ $\theta_{43} = -0,0835$	0,0053 0,0089 0,0002	-5,8482
ARMA (1,2)	$\varphi_{43} = -0,0812$ $\theta_3 = -0,0591$ $\theta_{18} = -0,0532$	0,0003 0,0032 0,0089	-5,8481
ARMA (2,1)	$\varphi_3 = -0,0553$ $\varphi_{18} = -0,0481$ $\theta_{43} = -0,0848$	0,0057 0,0177 0,0001	-5,8479

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos concorrentes ARMA (p,q), constata-se que o ARMA (0,3) é o que melhor ajusta a série de dados uma vez que apresenta o menor o BIC (-5,8482). O modelo estimado tem três parâmetros de médias móveis, todos estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%, permitindo inferir que os retornos diários do ICO_2 dependem, simultaneamente, de ε_{t-3} , de ε_{t-18} , de ε_{t-43} e do erro contemporâneo, ε_t , com um

fator de influência negativo das inovações passadas, conforme pode-se observar na sua equação representativa:

$$R_t = -0,0562\varepsilon_{t-3} - 0,0532\varepsilon_{t-18} - 0,0835\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t.$$

O correlograma dos resíduos gerados pelo modelo ARMA (0,3) evidencia a completa eliminação da memória anteriormente presente na série, confirmando a sua adequação para modelar a dependência linear dos retornos diários sucessivos do ICO₂. O teste Ljung-Box apresenta p-valores maiores ou iguais a 0,1240 para todas as defasagens. Esse resultado sugere a não rejeição da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, ou seja, de que os erros gerados pelo modelo ARMA (0,3) são não autocorrelacionados.

O teste Jarque-Bera mostra que os momentos da série de resíduos produzidos pelo modelo ARMA (0,3) não são iguais aos da distribuição normal, com assimetria (-0,2787) e curtose (6,4033) diferentes de zero e de três, respectivamente. O teste Doornik-Hansen sugere que os erros amostrados não apresentam normalidade multivariada. Ambos testes indicam a não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00%, com p-valores iguais a 0,0000 (Tabela 5).

O correlograma dos resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,3) mostra sinais de heterocedasticidade condicional na série de retornos diários do ICO₂. O teste Ljung-Box apresenta p-valores iguais a 0,0000 para todas as defasagens, sugerindo a não aceitação da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, ou seja, de que os quadrados dos erros produzidos pelo modelo ARMA (0,3) são não autocorrelacionados.

Para confirmar o resultado do teste Ljung-Box, realiza-se o teste ARCH-LM, amplamente difundido em estudos empíricos sobre séries temporais financeiras. Atribuindo-se 5, 10, 15 e 20 *lags* para a sua realização, os p-valores são todos iguais a 0,0000. Dessa forma, decide-se pela não aceitação da hipótese nula de que a variância dos resíduos quadráticos é homocedástica, indicando a existência de heterocedasticidade condicional na série ao nível de significância de 5,00% (Tabela 5).

Tabela 5 – Resultados dos testes de normalidade e de heterocedasticidade condicional para os resíduos e os resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,3)

Teste	Estatística	p-valor
Jarque-Bera	869,2109	0,0000
Doornik-Hansen	385,6130	0,0000
ARCH-LM (5)	53,0941	0,0000
ARCH-LM (10)	64,3593	0,0000
ARCH-LM (15)	68,0976	0,0000
ARCH-LM (20)	80,6494	0,0000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Em síntese, observa-se que a dependência linear dos retornos diários sucessivos do ICO_2 é adequadamente ajustada por um modelo ARMA (0,3). O diagnóstico dos resíduos gerados mostra que os erros não apresentam distribuição normal e que os seus quadrados exibem heterocedasticidade condicional. Isso requer a aplicação de modelos da classe ARCH para modelar a dependência não linear dos retornos diários do Índice.

4.2.2 Estimação de modelos da classe ARCH para a série de retornos diários do ICO_2

Uma vez constatada a ausência de normalidade nos resíduos gerados pelo modelo ARMA (0,3), a estimação dos modelos da classe ARCH, via método da máxima verossimilhança, é realizada assumindo-se que os erros seguem uma distribuição t -Student padronizada, com ν graus de liberdade. Esse procedimento é adotado como uma forma de não comprometer a eficiência dos parâmetros, sendo recomendado pela literatura especializada (MORETTIN; TOLOI, 2004; BUENO, 2011).

A identificação dos modelos segue um processo de tentativa e erro para encontrar a quantidade ideal de parâmetros, dando-se sempre ênfase a modelos de ordem baixa em respeito ao princípio da parcimônia. Utiliza-se o critério de informação BIC para escolher, entre os modelos estimados que eliminam a heterocedasticidade condicional da série, aqueles que melhor ajustam a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 .

No Quadro 8 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2 . São explicitados os parâmetros das equações da média e da

variância condicional, a restrição paramétrica imposta para que se tenha estacionariedade, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 8 – Modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2

Média condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
θ_3	-0,0447 (0,0313) ^{NS}	-0,0403 (0,0578) ^{NS}	-0,0336 (0,1632) ^{NS}
θ_{18}	-0,0554 (0,0099)	-0,0558 (0,0075)	-0,0524 (0,0133)
θ_{43}	-0,0722 (0,0006)	-0,0717 (0,0005)	-0,0673 (0,0010)
Variância condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
ω	0,0001 (0,0000)	0,0001 (0,0000)	0,0001 (0,0000)
α_1	0,0674 (0,0194)	0,0618 (0,0187)	0,0440 (0,0997) ^{NS}
α_2	–	0,1787 (0,0000)	0,1634 (0,0000)
α_3	–	–	0,0677 (0,0378)
Qualidade do ajustamento	Modelos estimados		
Fatores observados	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
$\sum_{i=1}^q \alpha_i$	0,0674	0,2405	0,2751
BIC	-5,9084	-5,9258	-5,9251
ARCH-LM (5)	38,8424 (0,0000)	2,7015 (0,7459)	1,0897 (0,9550)
ARCH-LM (10)	49,5120 (0,0000)	13,9036 (0,1774)	10,2815 (0,4161)
ARCH-LM (15)	54,5875 (0,0000)	20,9907 (0,1371)	15,7651 (0,3978)
ARCH-LM (20)	66,2569 (0,0000)	25,3299 (0,1891)	19,1774 (0,5103)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,3) – ARCH (2), com o menor BIC (-5,9258). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância

de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,1371 considerando-se 5, 10, 15 e 20 *lags*. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante e que o modelo ajusta adequadamente a volatilidade da série de retornos diários do ICO₂.

O modelo estimado ARMA (0,3) – ARCH (2) satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega > 0$; α_1 e $\alpha_2 \geq 0$; e $\alpha_1 + \alpha_2 < 1$. O diagnóstico, portanto, comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Na equação da média condicional, apenas o parâmetro θ_3 é estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00%, com p-valor igual a 0,0578. A não exclusão desse coeficiente do modelo justifica-se pela sua relevância na eliminação da memória da série de retornos diários do ICO₂.

Todos os parâmetros estimados para a equação variância condicional, incluindo o intercepto, são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%. Isso garante que se possam realizar inferências seguras com relação às informações refletidas por esses coeficientes.

O valor da soma dos coeficientes de reação estimados através do modelo ARMA (0,3) – ARCH (2) é baixo ($\alpha_1 + \alpha_2 = 0,2405$). Depreende-se disso que o efeito de um choque ocorrido no período $t - 1$ tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ no período t . Pode-se inferir também que a volatilidade dos retornos diários do Índice reage com pouca intensidade aos movimentos do mercado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do ICO₂, obtidas com base no modelo ARMA (0,3) – ARCH (2), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0403_{\varepsilon_{t-3}} - 0,0558_{\varepsilon_{t-18}} - 0,0717_{\varepsilon_{t-43}} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 0,0001 + 0,0618_{\varepsilon_{t-1}^2} + 0,1787_{\varepsilon_{t-2}^2}.$$

Destaca-se que na equação da média há um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados. Isso mostra que aumentos da variância reduzem o retorno médio diário do ICO₂.

No Quadro 9 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do ICO₂. São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, a restrição paramétrica imposta para que se tenha estacionariedade, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 9 – Modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do ICO_2

Média condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
θ_3	-0,0333 (0,1698) ^{NS}	-0,0335 (0,1676) ^{NS}	-0,0340 (0,1644) ^{NS}
θ_{18}	-0,0525 (0,0223)	-0,0520 (0,0236)	-0,0508 (0,0265)
θ_{43}	-0,0645 (0,0030)	-0,0633 (0,0035)	-0,0612 (0,0046)
Variância condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
ω	4,7555 $\times 10^{-6}$ (0,0066)	3,8426 \times 10^{-6} (0,1352) ^{NS}	5,4897 $\times 10^{-6}$ (0,0061)
α_1	0,0495 (0,0000)	0,0401 (0,1093) ^{NS}	0,0204 (0,3442) ^{NS}
α_2	–	–	0,0371 (0,1413) ^{NS}
β_1	0,9204 (0,0000)	1,1538 (0,0380)	0,9079 (0,0000)
β_2	–	-0,2182 (0,6739) ^{NS}	–
Qualidade do ajustamento	Modelos estimados		
Fatores observados	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
$\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j$	0,9699	0,9757	0,9654
BIC	-5,9483	-5,9444	-5,9452
ARCH-LM (5)	4,7459 (0,4477)	4,5963 (0,4671)	3,6692 (0,5979)
ARCH-LM (10)	6,1987 (0,7983)	6,1197 (0,8051)	5,3220 (0,8687)
ARCH-LM (15)	7,7740 (0,9325)	7,7577 (0,9331)	7,0425 (0,9565)
ARCH-LM (20)	9,8033 (0,9716)	9,6787 (0,9736)	8,6669 (0,9865)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,3) – GARCH (1,1), com o menor BIC (-5,9483). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,4477 considerando-se 5, 10, 15 e

20 lags. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante e que o modelo ajusta adequadamente a volatilidade da série de retornos diários do ICO₂.

O modelo estimado ARMA (0,3) – GARCH (1,1) satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega > 0$; α_1 e $\beta_1 \geq 0$; e $\alpha_1 + \beta_1 < 1$. O diagnóstico, portanto, comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Observa-se na equação da média condicional apenas o parâmetro θ_3 é estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00%, com p-valor igual a 0,1698. A não exclusão desse coeficiente do modelo justifica-se pela sua relevância na eliminação da memória da série de retornos diários do ICO₂. Todos os parâmetros estimados para a equação variância condicional, incluindo o intercepto, são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%.

O valor do coeficiente de reação estimado através do modelo ARMA (0,3) – GARCH (1,1) é baixo ($\alpha_1 = 0,0495$). Evidencia-se assim que o efeito de um choque ocorrido no período t tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ no período $t + 1$. Ou seja, a extensão da volatilidade presente no comportamento futuro da série é curta. Pode-se inferir também que a volatilidade dos retornos diários do Índice reage com pouca intensidade aos movimentos do mercado, corroborando com o resultado encontrado pelo modelo ARMA (0,3) – ARCH (2).

O valor do coeficiente de persistência estimado através do modelo ARMA (0,3) – GARCH (1,1) é alto ($\beta_1 = 0,9204$). Verifica-se assim que 92,04% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ no período t , apresentando uma inércia elevada.

Observa-se que a velocidade de convergência da volatilidade para o nível da sua média história é baixa, uma vez que a soma dos coeficientes de reação e de persistência mostra-se alta ($\alpha_1 + \beta_1 = 0,9699$), evidenciando que os retornos diários do ICO₂ são consideravelmente voláteis. Esse resultado indica que um choque na volatilidade tem efeitos longos sobre o comportamento futuro da série, enfraquecendo lentamente, o que torna o processo de reversão ao seu padrão de equilíbrio, ou de normalidade, demorado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do ICO₂, obtidas com base no modelo ARMA (0,3) – GARCH (1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0333\varepsilon_{t-3} - 0,0525\varepsilon_{t-18} - 0,0645\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 4,7555 \times 10^{-6} + 0,0495\varepsilon_{t-1}^2 + 0,9204\sigma_{t-1}^2.$$

Destaca-se que na equação da média há um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância reduzem o retorno médio diário do ICO_2 .

No Quadro 10 são apresentados os modelos $\text{ARMA}(p,q) - \text{TGARCH}(p,q,r)$ estimados para a série de retornos diários do ICO_2 . São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 10 – Modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do ICO₂

Média condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
θ_3	-0,0350 (0,1518) ^{NS}	-0,0353 (0,1495) ^{NS}	-0,0354 (0,1490) ^{NS}
θ_{18}	-0,0530 (0,0195)	-0,0527 (0,0202)	-0,0487 (0,0317)
θ_{43}	-0,0694 (0,0011)	-0,0684 (0,0013)	-0,0646 (0,0025)
Variância condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
ω	5,1917 $\times 10^{-6}$ (0,0010)	4,4669 \times 10^{-6} (0,0959) ^{NS}	5,4720 $\times 10^{-6}$ (0,0009)
α_1	0,0162 (0,1824) ^{NS}	0,0144 (0,2686) ^{NS}	-0,0274 (0,1459) ^{NS}
α_2	–	–	0,0481 (0,0356)
β_1	0,9163 (0,0000)	1,0914 (0,0456)	0,9085 (0,0000)
β_2	–	-0,1633 (0,7471) ^{NS}	–
γ_1	0,0727 (0,0001)	0,0615 (0,1050) ^{NS}	0,0767 (0,0000)
Qualidade do ajustamento	Modelo estimado		
Fatores observados	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
BIC	-5,9520	-5,9480	-5,9497
ARCH-LM (5)	2,7049 (0,7454)	2,5782 (0,7647)	2,5308 (0,7718)
ARCH-LM (10)	4,7500 (0,9072)	4,5498 (0,9192)	4,5725 (0,9178)
ARCH-LM (15)	6,5004 (0,9701)	6,3387 (0,9735)	6,4571 (0,9710)
ARCH-LM (20)	8,6478 (0,9866)	8,3191 (0,9895)	8,1786 (0,9906)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1), com o menor BIC (-5,9520). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,7454 considerando-se 5, 10, 15 e 20 *lags*. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é

constante e que o modelo ajusta adequadamente a volatilidade da série de retornos diários do ICO_2 .

O modelo estimado $\text{ARMA}(0,3) - \text{TGARCH}(1,1,1)$ satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega \geq 0$; $\alpha_1 > 0$; $\beta_1 \geq 0$; $\alpha_1 + \gamma_1 > 0$; e $\alpha_1 + \frac{\gamma_1}{2} + \beta_1 < 1$. O diagnóstico, portanto, comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Na equação da média condicional, apenas o parâmetro θ_3 é estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00%, com p-valor igual a 0,1518. A não exclusão desse coeficiente do modelo justifica-se pela sua relevância na eliminação da memória da série de retornos diários do ICO_2 .

Na equação da variância condicional, apenas do parâmetro α_1 é estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00%, com p-valor igual a 0,1824. Contudo, isso não inviabiliza a análise dos coeficientes de simetria γ_1 e de persistência β_1 (ARAÚJO; LEITE FILHO, 2012).

O valor do coeficiente de reação estimado através do modelo $\text{ARMA}(0,3) - \text{TGARCH}(1,1,1)$ é baixo ($\alpha_1 = 0,0162$). No entanto, como o parâmetro em questão não apresenta significância estatística, em nada se pode inferir sobre as informações por ele refletidas.

O valor do coeficiente de persistência estimado através do modelo $\text{ARMA}(0,3) - \text{TGARCH}(1,1,1)$ é alto ($\beta_1 = 0,9163$). Verifica-se assim que 91,63% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 no período t , apresentando uma inércia elevada, o que corrobora com o resultado encontrado pelo modelo $\text{ARMA}(0,3) - \text{GARCH}(1,1)$.

O valor do coeficiente de simetria estimado através do modelo $\text{ARMA}(0,3) - \text{TGARCH}(1,1,1)$ é positivo e estatisticamente significativo ao nível de significância de 5,00% ($\gamma_1 = 0,0727$). Isso permite inferir que os impactos de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 são assimétricos ($\gamma_1 \neq 0$) e que existe efeito alavancagem ($\gamma_1 > 0$).

Com base nesse resultado, evidencia-se que notícias ruins ($\varepsilon_{t-k} < 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 do que notícias boas ($\varepsilon_{t-k} > 0$), aumentando a sua variância condicional em uma magnitude maior ($\alpha_1 + \gamma_1 = 0,0889$). Isso decorre das oscilações pronunciadas nas pontuações de fechamento diárias do Índice, sendo a sua volatilidade mais sensível aos choques de origem adversa do mercado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do ICO_2 , obtidas com base no modelo ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0333\varepsilon_{t-3} - 0,0525\varepsilon_{t-18} - 0,0645\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 5,1917 \times 10^{-6} + 0,0162\varepsilon_{t-1}^2 + 0,9163\sigma_{t-1}^2 + 0,0727d_{(\varepsilon_{t-1} \leq 0)}|\varepsilon_{t-1}|^2.$$

Verifica-se que na equação da média há um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância reduzem o retorno médio diário do ICO_2 .

No Quadro 11 são apresentados os modelos ARMA (p, q) – EGARCH (p, q, r) estimados para a série de retornos diários do ICO_2 . São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 11 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do ICO_2

Média condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
θ_3	-0,0343 (0,1524) ^{NS}	-0,0345 (0,1517) ^{NS}	-0,0342 (0,1571) ^{NS}
θ_{18}	-0,0466 (0,0389)	-0,0465 (0,0393)	-0,0443 (0,0481)
θ_{43}	-0,0671 (0,0015)	-0,0669 (0,0015)	-0,0628 (0,0030)
Variância condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
ω	-0,2583 (0,0003)	-0,2369 (0,0541) ^{NS}	-0,2848 (0,0002)
α_1	0,0839 (0,0001)	0,0766 (0,0630) ^{NS}	-0,0123 (0,8201) ^{NS}
α_2	–	–	0,1039 (0,0621) ^{NS}
β_1	0,9778 (0,0000)	1,0849 (0,0202)	0,9755 (0,0000)
β_2	–	-0,1053 (0,8183) ^{NS}	–
γ_1	-0,0611 (0,0000)	-0,0547 (0,0576) ^{NS}	-0,0632 (0,0000)
Qualidade do ajustamento	Modelo estimado		
Fatores observados	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
BIC	-5,9559	-5,9518	-5,9536
ARCH-LM (5)	2,6779 (0,7495)	2,6013 (0,7612)	3,1030 (0,6841)
ARCH-LM (10)	4,6046 (0,9160)	4,4338 (0,9257)	4,7694 (0,9060)
ARCH-LM (15)	6,0495 (0,9789)	5,8820 (0,9817)	6,3169 (0,9739)
ARCH-LM (20)	7,5938 (0,9942)	7,3145 (0,9955)	7,3313 (0,9954)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1), com o menor BIC (-5,9559). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,7495 considerando-se 5, 10, 15 e 20 lags. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é

constante e que o modelo ajusta adequadamente a volatilidade da série de retornos diários do ICO₂.

Na equação da média condicional, apenas o parâmetro θ_3 é estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00%, com p-valor igual a 0,1524. A não exclusão desse coeficiente do modelo justifica-se pela sua relevância na eliminação da memória da série de retornos diários do ICO₂. Todos os parâmetros estimados para a equação variância condicional, incluindo o intercepto, são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%.

O valor do coeficiente de reação estimado através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) é baixo ($\alpha_1 = 0,0839$). Constata-se assim que o efeito de um choque ocorrido no período t tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ no período $t + 1$. Pode-se inferir também que a volatilidade dos retornos diários do Índice reage com pouca intensidade aos movimentos do mercado, corroborando com os resultados encontrados pelos modelos ARMA (0,3) – ARCH (2) e ARMA (0,3) – GARCH (1,1).

O valor do coeficiente de persistência estimado através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1) é alto ($\beta_1 = 0,9778$). Verifica-se assim que 97,78% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ no período t , apresentando uma inércia elevada, o que corrobora com os resultados encontrados pelos modelos ARMA (0,3) – GARCH (1,1) e ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1).

O valor do coeficiente de simetria estimado através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) é negativo e estatisticamente significativo ao nível de significância de 5,00% ($\gamma_1 = -0,0611$). Isso possibilita inferir que os impactos de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ são assimétricos ($\gamma_1 \neq 0$) e que existe efeito alavancagem ($\gamma_1 < 0$), assim como constatado pelo modelo ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1).

Evidencia-se que choques negativos ($\varepsilon_{t-k} < 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ do que choques positivos ($\varepsilon_{t-k} > 0$), aumentando a sua variância condicional em uma magnitude maior ($\alpha_1 + |\gamma_1| = 0,1450$). Isso decorre das oscilações pronunciadas nas pontuações de fechamento diárias do Índice, sendo a sua volatilidade mais sensível aos choques de origem adversa do mercado, corroborando com o resultado encontrado pelo modelo ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1).

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do ICO₂, obtidas com base no modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0343\varepsilon_{t-3} - 0,0466\varepsilon_{t-18} - 0,0671\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t,$$

$$\ln\sigma_t^2 = -0,2583 + 0,0839\left|\frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}\right| + 0,9778\ln\sigma_{t-1}^2 - 0,0611\left|\frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}\right|.$$

Constata-se que na equação da média há um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância reduzem o retorno médio diário do ICO_2 .

Comparando-se os modelos ARMA (0,3) – ARCH (2), ARMA (0,3) – GARCH (1,1), ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1), observa-se que todos evidenciam que a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 é pouco reativa aos movimentos do mercado. Os modelos ARMA (0,3) – GARCH (1,1), ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) mostram que o efeito de um choque ocorrido no passado apresenta uma alta persistência sobre a volatilidade presente da série, a qual mantém uma inércia elevada.

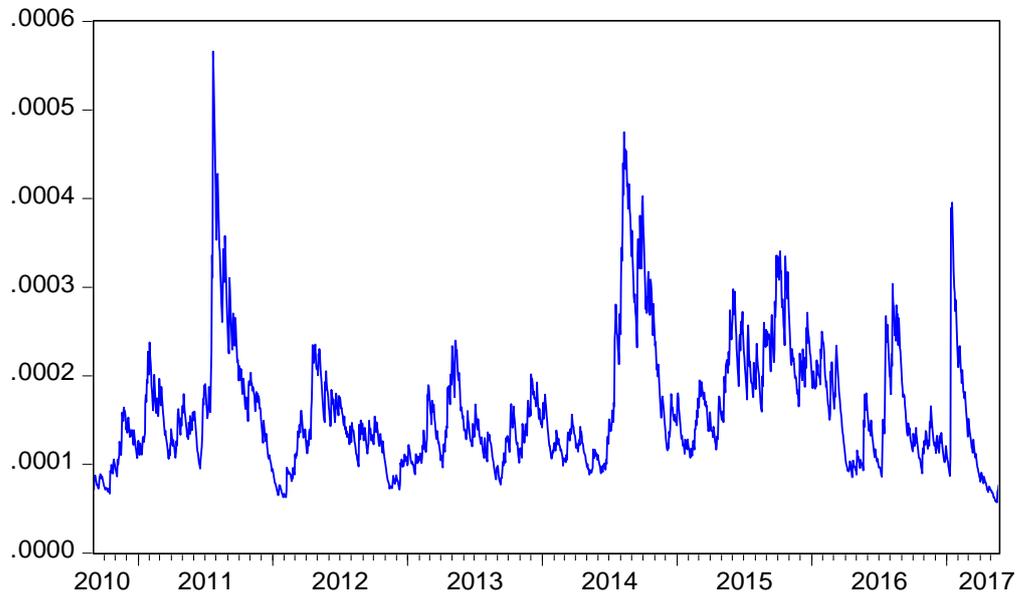
Os resultados encontrados através do modelo ARMA (0,3) – GARCH (1,1) revelam que a velocidade de reversão da variância condicional para a sua média histórica é baixa. Isso evidencia que o efeito de um choque deve demorar vários períodos para se dissipar, tornando a série consideravelmente volátil às dinâmicas do mercado.

Os modelos ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) indicam que o efeito de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 é assimétrico, com existência de efeito alavancagem, elucidando que notícias negativas têm um impacto de maior magnitude sobre a variância condicional da série do que notícias positivas. Todos os modelos estimados confirmam, através das equações da média e da variância condicional, que aumentos da volatilidade reduzem o retorno médio diário do Índice.

Entre os modelos concorrentes da classe ARCH, aquele que apresenta o menor BIC é o ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1). Com base nisso, pode-se considerar que esse modelo ajusta de forma mais adequada a volatilidade dos retornos diários do ICO_2 em comparação aos demais. Portanto, ele demonstra ser mais eficiente no ajustamento da dependência não linear da série.

A Figura 3 mostra a volatilidade estimada dos retornos diários do ICO_2 a partir dos resultados obtidos com o modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1). Verifica-se que eventos ocorridos no segundo semestre de 2011 e de 2014 ocasionaram uma alta considerável na volatilidade dos retornos diários do Índice, gerando picos acentuados na série. Observa-se ainda que o ano de 2015 é marcado por uma intensa aglomeração de volatilidade, fato que pode estar associado a um aumento da incerteza decursivo da instabilidade política e econômica que assola o país nesse período.

Figura 3 – Volatilidade estimada dos retornos diários do ICO_2 através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

No que concerne aos fatos estilizados sobre os retornos financeiros, verifica-se que a série de retornos diários do ICO_2 atende à maior parte deles:

- i. Apresenta estacionariedade;
- ii. Apresenta uma forte dependência não linear;
- iii. Apresenta agrupamentos de volatilidade ao longo do tempo;
- iv. Apresenta retornos quadráticos autocorrelacionados;
- v. Apresenta heterocedasticidade condicional;
- vi. Apresenta distribuição incondicional com caudas mais pesadas do que as da normal, com excesso de curtose e presença de leptocurtose.

No entanto, ressalta-se que a série de retornos diários do ICO_2 apresenta uma dependência linear que não pode ser considerada fraca. Isso porque os retornos diários do Índice são autocorrelacionados, sendo necessária a estimação de um modelo ARMA (0,3), entre outras simulações realizadas, com três parâmetros de médias móveis para eliminar o processo de memória presente na série.

Considerando-se a hipótese de mercados eficientes, o teste de eficiência da forma fraca, ou de previsão, implica constatar a inexistência de autocorrelação nos retornos (BONE; RIBEIRO, 2002). Ou seja, os retornos dos ativos devem ser independentes, não

correlacionados, para que se possa diversificar o risco e maximizar o retorno esperado (ARAÚJO; LEITE FILHO, 2012; LEAN; ANG; SMYTH, 2015). Assim, com base na teoria dos passeios aleatórios, uma série de alterações nos preços e, no caso específico dessa pesquisa, nos retornos diários dos Índices analisados, não deve apresentar memória, garantindo que o seu comportamento passado não possa ser utilizado para prever com exatidão o seu comportamento futuro.

Uma vez constada a presença de memória nos retornos diários do ICO_2 , sendo eles autocorrelacionados com uma forte dependência linear, verifica-se, com base no mecanismo gerador da série, que o teste de eficiência da forma fraca não é satisfeito nesse caso. Isso sugere que as mudanças nos retornos diários do Índice são previsíveis e dependem do seu comportamento passado, permitindo que os investidores obtenham retornos ajustados ao risco em excesso a partir das cotações passadas.

Além disso, uma vez verificada a ausência de raiz unitária na série de retornos diários do ICO_2 , há evidência de que os retornos não seguem um processo de passeio aleatório. Essa constatação é contrária à hipótese de mercados eficientes. No entanto, ressalta-se que a presença de raiz unitária é uma condição necessária, porém não suficiente para que exista um processo de passeio aleatório (SAMPAIO, 2012).

Enfatiza-se que um processo de raiz unitária pode ter elementos de previsibilidade, mas um processo de passeio aleatório para os preços das ações significa que os retornos devem ser não correlacionados (SAMPAIO, 2012). Assim, sendo os retornos diários do ICO_2 correlacionados e não independentes, com ausência de raiz unitária na série, há evidências de que a hipótese de mercados eficientes não se confirma para esse segmento do mercado financeiro brasileiro.

A possível explicação para esses resultados consiste no fato do ICO_2 ser um Índice recente no mercado financeiro brasileiro, representando também uma inovação nesse âmbito. O embasamento disso reside na afirmação de que uma das razões mais convincentes para a rejeição da hipótese de mercados eficientes, são as frequentes inovações introduzidas no sistema financeiro (LIMA, 2003).

Quando uma inovação aparece é necessário transcorrer um tempo razoável para identificar o seu efeito nos preços dos ativos (LIMA, 2003). Isso faz com que durante esse período de transição, na medida em que mais agentes adotem tal inovação, aqueles que já estão mais familiarizados com ela terão vantagem sobre os retardatários, obtendo lucros pela arbitragem entre os produtos novos e os antigos (LIMA, 2003).

Até mesmo os mercados que não exibem rendimentos correlacionados podem apresentar volatilidades variáveis, criando memória (LIMA, 2003). Assim, o conhecimento de uma volatilidade forte ou fraca no passado recente é capaz de levar à antecipação de resultados diferentes a partir de um certo nível de volatilidade atual (LIMA, 2003). A autocorrelação dessa volatilidade possibilita informar a respeito das oscilações globais do mercado (LIMA, 2003). Se a volatilidade é alta, o mercado tende a oscilar com mais frequência do que no caso em que as variações de preços são independentes no tempo (LIMA, 2003).

Parte da literatura consultada afirma que os investidores de ISR optam por essa modalidade de investimento para auferirem retornos financeiros superiores aos de mercado, mais um bônus que não é de natureza financeira, como contribuir para a promoção de mudanças socioambientais positivas (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005; TRIPATHI; BHANDARI, 2015). Alguns autores sustentam que montar uma carteira de investimentos baseada em questões econômicas, ambientais e sociais representa uma forma de maximizar o retorno do acionista (ROSA et. al, 2010).

Como a composição de uma carteira de ISR é realizada através de um processo de triagem, por meio do qual as empresas que não atuam em conformidade aos padrões ASG são excluídas, espera-se que o portfólio resultante seja, evidentemente, menos diversificado. Isso, do ponto de vista teórico, contrasta com a teoria moderna do portfólio, segundo a qual qualquer regra de comportamento que não esteja fundamentada na superioridade de um portfólio diversificado deve ser imediatamente rejeitada.

Sob essa ótica, uma carteira composta exclusivamente por ações de empresas listadas no ICO₂ não teria a dupla potencialidade de reduzir o risco e a incerteza associada ao investimento e de maximizar os retornos esperados dado um certo nível de risco. Com efeito, o portfólio construído seria ineficiente e os investidores, ao optarem por um portfólio menos diversificado, estariam expostos a um risco maior, não sendo caracterizados como avessos ao risco e sim como propensos ao risco.

Com base nisso, o desempenho de um portfólio de ISR estaria comprometido ao restringir-se um conjunto de oportunidades de investimento, inibindo inclusive o alcance de maiores retornos financeiros. No entanto, ressalta-se que as carteiras de ISR ganham uma taxa de retorno de mercado após o ajuste pelo seu nível de risco, o qual é não diversificável (WALL, 1995). Isso permite que a sua performance não seja inferior à de um investimento convencional.

Outro fator que contrasta entre os ISR e os investimentos convencionais, é a forma de gestão da carteira. As evidências sugerem que uma gestão ativa da carteira torna possível melhorar o desempenho financeiro dos ISR (DAS; RAO, 2013). Os proponentes da hipótese de

mercados eficientes defendem uma gestão passiva, a qual busca apenas estabelecer uma carteira bem diversificada, sem tentar encontrar ações sobrevalorizadas ou subvalorizadas (SAMPAIO, 2012). Segundo a hipótese de mercados eficientes, uma gestão ativa da carteira faz com o investidor incorra em custos adicionais, não justificando as despesas contraídas (SAMPAIO, 2012).

Alguns autores sustentam que mesmo aplicando-se a técnica de triagem para a composição de uma carteira de ISR, ainda é possível alcançar um portfólio diversificado (PEYLO, 2014). Considerando-se a mais recente carteira teórica do ICO₂, verifica-se a presença de 28 ações, entre ordinárias (ON) e preferenciais (PN), de empresas com alto valor de mercado para servir de norte para a tomada de decisão do investidor (BM&FBVESPA, 2018). Esse dado revela a possibilidade de compor um portfólio ainda diversificado, mesmo que tal diversificação seja limitada comparativamente a um processo livre da implementação de *screening*.

Os resultados revelam que o ICO₂ apresenta incompatibilidade com a abordagem tradicional que trata sobre finanças. Isso é evidenciado através da constatação de que o comportamento dos retornos diários do Índice viola o teste de eficiência da forma fraca da hipótese de mercados eficientes. Além disso, a aplicação da técnica de triagem pressupõe um portfólio menos diversificado e com maior exposição ao risco, contrastando também com a teoria moderna do portfólio, mesmo sendo verificadas algumas regularidades empíricas como a estacionariedade da série dos retornos diários do ICO₂, além de outros fatos estilizados. Ressalta-se que esse resultado é amplamente destacado na literatura sobre ISR (BEAL; GOYEN; PHILLIPS, 2005; BERRY; JUNKUS, 2013; PEYLO, 2014; LEAN; ANG; SMYTH, 2015).

4.3 ANÁLISE DESCRITIVA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO IBOVESPA

A análise das estatísticas descritivas do Ibovespa permite uma caracterização inicial da amostra, composta por 1.754 observações, que representam os retornos diários Índice no período de 01 de setembro de 2010 até 30 de setembro de 2017. Na Tabela 6 são apresentadas as principais medidas de posição (média, mediana, máximo e mínimo), de dispersão ou variabilidade (desvio padrão e coeficiente de variação) e de momentos da série (assimetria e curtose), além dos resultados dos testes de normalidade realizados (Jarque-Bera e Doornik-Hansen).

Tabela 6 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do Ibovespa

Estatística	Coefficiente	p-valor
Amostra	1.754	
Média	$5,8295 \times 10^{-5}$	
Mediana	$6,7566 \times 10^{-5}$	
Máximo	0,0638	
Mínimo	-0,0921	
Desvio Padrão	0,0145	
Coefficiente de Variação	249,02%	
Coefficiente de Assimetria	-0,1561	
Coefficiente de Curtose	5,1457	
Jarque-Bera	343,6143	0,0000
Doornik-Hansen	199,9500	0,0000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Observa-se que o Ibovespa apresenta um retorno médio diário positivo de $5,8295 \times 10^{-5}$ para o período abordado na pesquisa, com uma variação absoluta de 0,0145 e com uma variação relativa de 249,02%, indicando uma alta variabilidade da amostra. O coeficiente de assimetria, de -0,1561, sugere que a curva de frequências da distribuição é desviada para a esquerda, sendo assimetricamente negativa. O coeficiente de curtose, de 5,1457, revela que a curva de frequências da distribuição é mais alta do que a da normal, demonstrando a presença de leptocurtose (Tabela 6).

O teste Jarque-Bera, pelo qual decide-se pela não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (p-valor = 0,0000), mostra que os momentos da série não são iguais aos da distribuição normal, com assimetria (-0,1561) e curtose (5,1457) diferentes de zero e de três, respectivamente. O teste Doornik-Hansen, pelo qual opta-se pela não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (p-valor = 0,0000), indica que os retornos diários do Ibovespa não apresentam normalidade multivariada (Tabela 6).

As evidências dos testes Jarque-Bera e Doornik-Hansen de que a amostra não tem características de uma distribuição normal, corrobora com os resultados indicados pelos coeficientes de assimetria e de curtose. Portanto, pode-se considerar que os retornos diários do

Ibovespa exibem distribuição de frequências leptocúrtica, com cauda pesada mais longa à esquerda.

Os testes KPSS e DF-GLS confirmam a ausência de raiz no círculo unitário da série de retornos diários do Ibovespa, sinalizando a sua estacionariedade uma vez que no primeiro não se rejeita a hipótese nula e no segundo não se aceita a hipótese nula. Esses resultados são obtidos observando-se que as estatísticas dos dois testes são menores do que os valores críticos teóricos para aos níveis de significância de 1%, de 5% e de 10%, evidenciando a ausência de alguma raiz no círculo unitário da série (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados dos testes de raiz unitária para a série de retornos diários do Ibovespa

Nível de significância	Teste KPSS		Teste DF-GLS	
	Valores críticos	Estatística	Valores críticos	Estatística
	teóricos	ML	teóricos	<i>t</i>
1%	0,7390	0,2113	-2,5662	-26,7672
5%	0,4630		-1,9410	
10%	0,3470		-1,6165	

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Os testes Cox-Stuart, Wald-Wolfwitz e Mann-Kendall, realizados para verificar a presença ou a ausência do componente de tendência na série de retornos diários do Ibovespa, sugerem a não rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (Tabela 8). Portanto, pode-se inferir de forma segura que não há tendência estatisticamente significativa na série, de modo que não existem elementos de longo prazo atuando sobre os retornos diários do Ibovespa.

Tabela 8 – Resultados dos testes de tendência para a série de retornos diários do Ibovespa

Crítérios	Teste Cox-Stuart	Teste Wald-Wolfwitz	Teste Mann-Kendall
Estatística	466	0,5732	0,0235
p-valor	0,0681	0,7168	0,1391

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Os testes Kruskal-Wallis e Friedman, realizados para verificar a presença ou a ausência do componente de sazonalidade determinística na série de retornos diários do Ibovespa, sugerem a não rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5,00% (Tabela 9). Portanto, pode-se inferir de forma segura que não há sazonalidade determinística estatisticamente significativa na série, de modo que não existem padrões regulares, ou ondas de curta duração, nos retornos diários do Ibovespa considerando-se comprimentos sazonais de 6 meses e de 12 meses.

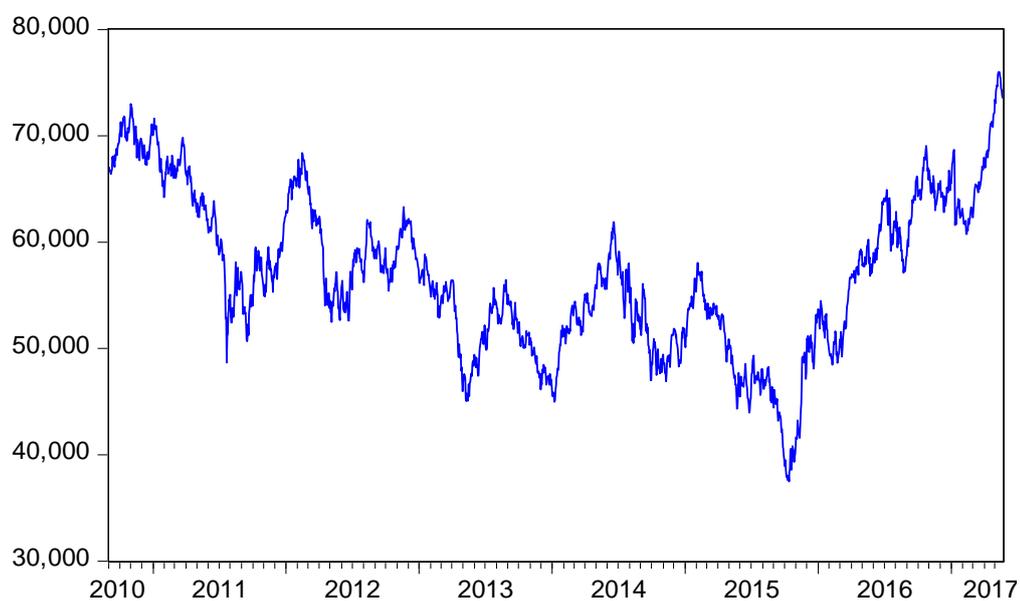
Tabela 9 – Resultados dos testes de sazonalidade determinística para a série de retornos diários do Ibovespa

Comprimento sazonal	Teste Kruskal-Wallis		Teste Friedman	
	Estatística	p-valor	Estatística	p-valor
6 meses	6,8948	0,2285	6,9921	0,2212
12 meses	11,0728	0,4371	11,9283	0,3690

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

A Figura 4 representa graficamente a série em nível da pontuação de fechamento diária do Ibovespa. A sua inspeção visual revela que o comportamento dos dados amostrados é instável ao longo do tempo, com alternância entre períodos de alta e de baixa. Pode-se observar que o quarto trimestre de 2015 apresenta a menor cotação do Índice, com recuperação a partir dos anos de 2016 e de 2017.

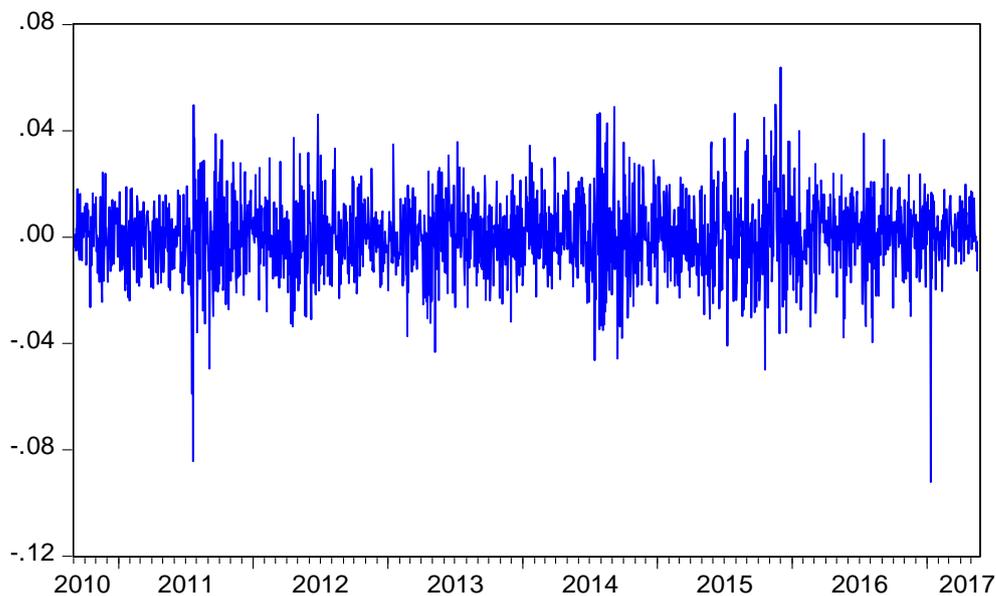
Figura 4 – Série da pontuação de fechamento diária do Ibovespa



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

A Figura 5 representa graficamente a série de retornos diários do Ibovespa. A sua inspeção visual indica a existência de estabilidade na série. Esse comportamento sugere a sua estacionariedade, uma vez que os seus valores oscilam acima e abaixo de uma média fixa, corroborado com os testes de raiz unitária KPSS e DF-GLS.

Figura 5 – Série dos retornos diários do Ibovespa



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

A Figura 5 evidencia a presença de *clusters* de volatilidade na série dos retornos diários do Ibovespa, em que há uma aglomeração de volatilidade decursiva das dinâmicas do mercado. As maiores aglomerações de volatilidade são observadas nos anos de 2011, de 2012, de 2014 e de 2015. Consta-se ainda a presença de picos elevados nos anos de 2011, de 2015 e de 2017 que refletem a ocorrência de choques, positivos e negativos, sobre a volatilidade do Índice.

4.4 ANÁLISE ECONOMETRICA DOS RETORNOS DIÁRIOS DO IBOVESPA

O teste Ljung-Box apresenta p-valores maiores ou iguais a 0,0730, sugerindo a não rejeição da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, evidenciando que os retornos diários do Ibovespa são não autocorrelacionados. No entanto, a inspeção visual do correlograma da série indica que algumas autocorrelações e autocorrelações parciais rompem o intervalo de confiança, demonstrando carregar algum tipo de informação relevante que deve ser captada.

Com base nessas defasagens, estimam-se alguns modelos concorrentes ARMA (p,q), pelo método da máxima verossimilhança, buscando-se por aqueles que ajustem adequadamente os retornos diários do Ibovespa. Ressalta-se que mesmo não sendo constatada memória na série,

a estimação de um modelo ARMA (p,q) é recomendada pela literatura especializada como sendo um procedimento inicial para então proceder à modelagem dos resíduos gerados através da aplicação de modelos da classe ARCH a partir da constatação da presença de heterocedasticidade condicional.

Os modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados são então comparados com base no critério de informação BIC, sendo escolhido aquele que apresentar o menor valor numérico para essa estatística. Ressalta-se que escolher um modelo apropriado do ponto de vista estatístico é uma condição fundamental para a análise dos dados, de modo que se busca explicar corretamente o comportamento da série em estudo.

4.4.1 Estimação de modelos da classe ARMA para a série de retornos diários do Ibovespa

Constata-se que nenhum dos modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados apresenta constante estatisticamente significativa ao nível de significância de 5,00%. Isso justifica a sua exclusão no ajustamento desses modelos. Os resultados finais dos principais modelos concorrentes ARMA (p,q) ajustados estão explicitados no Quadro 12.

Quadro 12 – Modelos concorrentes ARMA (p,q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa

Modelo	Parâmetros	p-valor	BIC
ARMA (1,0)	$\varphi_{43} = -0,0889$	0,0000	-5,6270
ARMA (0,1)	$\theta_{43} = -0,0928$	0,0000	-5,6274
ARMA (1,1)	$\varphi_{58} = -0,0606$ $\theta_{43} = -0,0904$	0,0101 0,0000	-5,6268

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos concorrentes ARMA (p,q), constata-se que o ARMA (0,1) é o que melhor ajusta a série de dados uma vez que apresenta o menor o BIC (-5,6274). O modelo estimado tem um parâmetro de médias móveis, estatisticamente significativo ao nível de significância de 5,00%, permitindo inferir que os retornos diários do Ibovespa dependem,

simultaneamente, de ε_{t-43} e do erro contemporâneo, ε_t , com um fator de influência negativo da inovação passada, como pode-se observar na sua equação representativa:

$$R_t = -0,0928\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t.$$

O correlograma dos resíduos gerados pelo modelo ARMA (0,1) evidencia a sua adequação para modelar a dependência linear dos retornos diários sucessivos do Ibovespa. O teste Ljung-Box apresenta p-valores maiores ou iguais a 0,1770 para todas as defasagens. Esse resultado sugere a não rejeição da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, ou seja, de que os erros produzidos pelo modelo ARMA (0,1) são não autocorrelacionados.

O teste Jarque-Bera mostra que os momentos da série de resíduos gerados pelo modelo ARMA (0,1) não são iguais aos da distribuição normal, com assimetria (-0,1505) e curtose (5,0650) diferentes de zero e de três, respectivamente. O teste Doornik-Hansen sugere que os erros amostrados não apresentam normalidade multivariada. Ambos testes indicam a não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00%, com p-valores iguais a 0,0000 (Tabela 10).

O correlograma dos resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,1) mostra sinais de heterocedasticidade condicional na série de retornos diários do Ibovespa. O teste Ljung-Box apresenta p-valores menores ou iguais a 0,0001 para todas as defasagens, sugerindo a não aceitação da hipótese nula de que a soma das autocorrelações e das autocorrelações parciais é estatisticamente não significativa ao nível de significância de 5,00%, ou seja, de que os quadrados dos erros produzidos pelo modelo ARMA (0,1) são não autocorrelacionados.

O resultado do teste Ljung-Box é confirmando pelo teste ARCH-LM. Atribuindo-se 5, 10, 15 e 20 *lags* para a sua realização, os p-valores são todos iguais a 0,0000. Desse modo, decide-se pela não aceitação da hipótese nula de que a variância dos resíduos quadráticos é homocedástica ao nível de significância de 5,00%, evidenciando a existência de heterocedasticidade condicional na série (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultados dos testes de normalidade e de heterocedasticidade condicional para os resíduos e os resíduos quadráticos gerados pelo modelo ARMA (0,1)

Teste	Estatística	p-valor
Jarque-Bera	318,2899	0,0000
Doornik-Hansen	188,5190	0,0000
ARCH-LM (5)	70,0997	0,0000
ARCH-LM (10)	82,8189	0,0000
ARCH-LM (15)	85,9626	0,0000
ARCH-LM (20)	98,1242	0,0000

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Verifica-se que a fraca dependência linear dos retornos diários sucessivos do Ibovespa é adequadamente ajustada por um modelo ARMA (0,1). O diagnóstico dos resíduos gerados mostra que os erros não apresentam distribuição normal e que os seus quadrados exibem heterocedasticidade condicional. Isso requer a aplicação de modelos da classe ARCH para modelar a dependência não linear dos retornos diários do Índice.

4.4.2 Estimação de modelos da classe ARCH para a série de retornos diários do Ibovespa

Uma vez constatada a ausência de normalidade nos resíduos, a estimação dos modelos da classe ARCH, via método da máxima verossimilhança, é realizada assumindo-se que os erros seguem uma distribuição *t*-Student padronizada, com ν graus de liberdade. Esse procedimento é adotado como uma forma de não comprometer a eficiência dos parâmetros.

A identificação dos modelos segue um processo de tentativa e erro para encontrar a quantidade ideal de parâmetros, priorizando modelos de ordem baixa em função do princípio da parcimônia. Faz-se uso do critério de informação BIC para escolher, entre os modelos estimados que eliminam a heterocedasticidade condicional da série, aqueles que melhor ajustam a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa.

No Quadro 13 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa. São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, a restrição paramétrica imposta para que se tenha estacionariedade,

o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 13 – Modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa

Média condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
θ_{43}	-0,0861 (0,0001)	-0,0902 (0,0000)	-0,0868 (0,0000)
Variância condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
ω	0,0001 (0,0000)	0,0001 (0,0000)	0,0001 (0,0000)
α_1	0,0595 (0,0403)	0,0638 (0,0198)	0,0433 (0,1190) ^{NS}
α_2	–	0,2018 (0,0000)	0,1917 (0,0000)
α_3	–	–	0,0636 (0,0450)
Qualidade do ajustamento	Modelos estimados		
Fatores observados	ARCH (1)	ARCH (2)	ARCH (3)
$\sum_{i=1}^q \alpha_i$	0,0595	0,2656	0,2986
BIC	-5,6645	-5,6865	-5,6856
ARCH-LM (5)	58,5520 (0,0000)	5,5900 (0,3482)	2,7666 (0,7359)
ARCH-LM (10)	70,7262 (0,0000)	22,9070 (0,0111)	18,0188 (0,0546)
ARCH-LM (15)	75,5032 (0,0000)	28,2657 (0,0200)	22,1342 (0,1043)
ARCH-LM (20)	87,5409 (0,0000)	33,2793 (0,0314)	26,4266 (0,1522)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – ARCH (q) estimados, aquele que apresenta o menor BIC (-5,6865) é o ARMA (0,1) – ARCH (2). No entanto, o teste ARCH-LM evidencia que esse modelo não elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não aceitação da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores menores ou iguais a 0,0314 para as *lags* 10, 15 e 20.

Observando-se o modelo ARMA (0,1) – ARCH (3), o teste ARCH-LM evidencia a eliminação da heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,0546 considerando-se 5, 10, 15 e 20 *lags*. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante.

O modelo AMRA (0,1) – ARCH (3) satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega > 0$; α_1, α_2 e $\alpha_3 \geq 0$; e $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 < 1$. O diagnóstico comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Analisando-se as equações da média e da variância condicional, o único parâmetro estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00% é o α_1 , com p-valor igual a 0,1190. Desse modo, em nada se pode inferir sobre as informações refletidas por esse coeficiente.

O valor da soma dos coeficientes de reação α_2 e α_3 estimados através do modelo ARMA (0,1) – ARCH (3) é baixo ($\alpha_2 + \alpha_3 = 0,2553$), indicando que o efeito de um choque ocorrido no período $t - 1$ tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período t . Pode-se considerar também que os retornos diários do Índice reagem de forma pouco intensa aos movimentos do mercado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do Ibovespa, obtidas com base no modelo ARMA (0,1) – ARCH (3), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0868_{\varepsilon_{t-43}} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 0,0001 + 0,0433_{\varepsilon_{t-1}^2} + 0,1917_{\varepsilon_{t-2}^2} + 0,0636_{\varepsilon_{t-3}^2}.$$

Constata-se que na equação da média existe um fator de influência negativo dos resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo dos erros quadráticos passados. Isso mostra que aumentos da variância decorrentes de choques reduzem o retorno médio diário do Ibovespa.

No Quadro 14 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa. São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, a restrição paramétrica imposta para que se tenha estacionariedade, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 14 – Modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa

Média condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
θ_{43}	-0,0818 (0,0003)	-0,0811 (0,0003)	-0,0795 (0,0004)
Variância condicional	Modelos estimados		
Parâmetros	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
ω	5,0686 $\times 10^{-6}$ (0,0043)	4,1670 \times 10^{-6} (0,1488) ^{NS}	6,0352 $\times 10^{-6}$ (0,0036)
α_1	0,0505 (0,0000)	0,0413 (0,1253) ^{NS}	0,0153 (0,5035) ^{NS}
α_2	–	–	0,0439 (0,0927) ^{NS}
β_1	0,9248 (0,0000)	1,1474 (0,0505) ^{NS}	0,9114 (0,0000)
β_2	–	-0,2090 (0,7032) ^{NS}	–
Qualidade do ajustamento	Modelos estimados		
Fatores observados	GARCH (1,1)	GARCH (1,2)	GARCH (2,1)
$\sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j$	0,9753	0,9797	0,9706
BIC	-5,7145	-5,7106	-5,7117
ARCH-LM (5)	11,9966 (0,0348)	11,6172 (0,0404)	8,5839 (0,1269)
ARCH-LM (10)	14,8307 (0,1384)	14,5286 (0,1502)	11,6762 (0,3073)
ARCH-LM (15)	16,3293 (0,3605)	16,1662 (0,3711)	13,5517 (0,5598)
ARCH-LM (20)	19,5201 (0,4883)	19,2251 (0,5072)	16,1597 (0,7067)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – GARCH (p,q) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,1) – GARCH (1,1), com o menor BIC (-5,7145). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,1384 considerando-se 10, 15 e 20 lags. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante.

O modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1) satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega > 0$; α_1 e $\beta_1 \geq 0$; e $\alpha_1 + \beta_1 < 1$. O diagnóstico comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Analisando-se as equações da média e da variância condicional, constata-se que todos os parâmetros estimados são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%. Isso permite realizar inferências seguras sobre as informações refletidas por esses coeficientes.

O valor do coeficiente de reação estimado através do modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1) é baixo ($\alpha_1 = 0,0505$), mostrando que o efeito de um choque ocorrido no período t tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período $t + 1$. Pode-se considerar também que os retornos diários do Índice reagem de forma pouco intensa aos movimentos do mercado, corroborando com o resultado encontrado pelo modelo ARMA (0,1) – ARCH (3).

O valor do coeficiente de persistência estimado através do modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1) é alto ($\beta_1 = 0,9248$). Depreende-se disso que 92,48% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período t , com uma inércia elevada.

Uma vez que a soma dos coeficientes de reação e de persistência estimados é alta ($\alpha_1 + \beta_1 = 0,9753$), evidencia-se que os retornos diários do Ibovespa são consideravelmente voláteis, de forma que a velocidade de convergência da volatilidade para o nível da sua média história é baixa. Esse resultado mostra que um choque na volatilidade tem efeitos longos sobre o comportamento futuro da série, dissipando-se lentamente, o que torna o processo de reversão ao seu padrão de equilíbrio demorado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do Ibovespa, obtidas com base no modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0818\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 5,0686 \times 10^{-6} + 0,0505\varepsilon_{t-1}^2 + 0,9248\sigma_{t-1}^2.$$

Verifica-se que na equação da média existe um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância decorrentes de choques reduzem o retorno médio diário do Ibovespa.

No Quadro 15 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa. São explicitados os parâmetros das equações da

média e da variância condicional, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 15 – Modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa

Média condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
θ_{43}	-0,0870 (0,0001)	-0,0865 (0,0001)	-0,0831 (0,0002)
Variância condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
ω	5,4108 $\times 10^{-6}$ (0,0009)	4,7159 \times 10^{-6} (0,0921) ^{NS}	5,9590 $\times 10^{-6}$ (0,0009)
α_1	0,0134 (0,2630) ^{NS}	0,0121 (0,3203) ^{NS}	-0,0353 (0,0797) ^{NS}
α_2	–	–	0,0530 (0,0244)
β_1	0,9230 (0,0000)	1,0906 (0,0420)	0,9139 (0,0000)
β_2	–	-0,1573 (0,7529) ^{NS}	–
γ_1	0,0751 (0,0000)	0,0640 (0,0975) ^{NS}	0,0796 (0,0000)
Qualidade do ajustamento	Modelo estimado		
Fatores observados	TGARCH (1,1,1)	TGARCH (1,2,1)	TGARCH (2,1,1)
BIC	-5,7194	-5,7154	-5,7176
ARCH-LM (5)	6,9550 (0,2240)	6,5770 (0,2540)	5,0145 (0,4141)
ARCH-LM (10)	9,3597 (0,4983)	8,9610 (0,5358)	7,4979 (0,6777)
ARCH-LM (15)	10,9524 (0,7560)	10,6447 (0,7773)	9,5435 (0,8474)
ARCH-LM (20)	14,7108 (0,7927)	14,1447 (0,8231)	12,6554 (0,8917)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – TGARCH (p,q,r) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1), com o menor BIC (-5,7194). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,2240 considerando-se 5,

10, 15 e 20 lags. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante.

O modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) satisfaz as restrições paramétricas impostas, de forma que: $\omega \geq 0$; $\alpha_1 > 0$; $\beta_1 \geq 0$; $\alpha_1 + \gamma_1 > 0$ e $\alpha_1 + \frac{\gamma_1}{2} + \beta_1 < 1$. O diagnóstico comprova a positividade da variância condicional e a estacionariedade da série.

Observando-se as equações da média e da variância condicional, o único parâmetro estatisticamente não significativo ao nível de significância de 5,00% é o α_1 , com p-valor igual a 0,2630. Desse modo, em nada se pode inferir sobre as informações refletidas por esse coeficiente. Contudo, ressalta-se novamente que isso não inviabiliza a análise dos coeficientes de simetria γ_1 e de persistência β_1 (ARAUJO; LEITE FILHO, 2012).

O valor do coeficiente de reação estimado através do modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) é baixo ($\alpha_1 = 0,0134$). No entanto, como o parâmetro em questão não apresenta significância estatística, em nada se pode inferir sobre as informações por ele refletidas.

O valor do coeficiente de persistência estimado através do modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) é alto ($\beta_1 = 0,9230$). Depreende-se disso que 92,30% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período t , com uma inércia elevada, corroborando com o resultado encontrado pelo modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1).

O valor do coeficiente de simetria estimado através do modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) é positivo e estatisticamente significativo ao nível de significância de 5,00% ($\gamma_1 = 0,0751$). Isso permite inferir que os impactos de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa são assimétricos ($\gamma_1 \neq 0$) e que existe efeito alavancagem ($\gamma_1 > 0$).

Evidencia-se assim que notícias ruins ($\varepsilon_{t-k} < 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa do que notícias boas ($\varepsilon_{t-k} > 0$), aumentando a sua variância condicional em uma magnitude maior ($\alpha_1 + \gamma_1 = 0,0885$). Isso é uma consequência das oscilações nas pontuações de fechamento diárias do Índice, sendo a sua volatilidade mais sensível aos choques negativos do mercado.

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do Ibovespa, obtidas com base no modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0870_{\varepsilon_{t-43}} + \varepsilon_t,$$

$$\sigma_t^2 = 5,4108 \times 10^{-6} + 0,0134_{\varepsilon_{t-1}^2} + 0,9230_{\sigma_{t-1}^2} + 0,0751d_{(\varepsilon_{t-1} \leq 0)}|\varepsilon_{t-k}|^2.$$

Constata-se que na equação da média existe um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância decorrentes de choques reduzem o retorno médio diário do Ibovespa.

No Quadro 16 são apresentados os modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa. São explicitados os parâmetros das equações da média e da variância condicional, o critério de informação BIC e os resultados do teste ARCH-LM sobre os resíduos padronizados.

Quadro 16 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para a série de retornos diários do Ibovespa

Média condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
θ_{43}	-0,0853 (0,0001)	-0,0852 (0,0001)	-0,0844 (0,0001)
Variância condicional	Modelo estimado		
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
ω	-0,2948 (0,0000)	-0,2573 (0,0464)	-0,3238 (0,0000)
α_1	0,0939 (0,0000)	0,0813 (0,0554) ^{NS}	-0,0194 (0,7321) ^{NS}
α_2	–	–	0,1223 (0,0348)
β_1	0,9740 (0,0000)	1,1357 (0,0075)	0,9714 (0,0000)
β_2	–	-0,1584 (0,7023) ^{NS}	–
γ_1	-0,0637 (0,0000)	-0,0541 (0,0489)	-0,0662 (0,0000)
Qualidade do ajustamento	Modelo estimado		
Fatores observados	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,2,1)	EGARCH (2,1,1)
BIC	-5,7194	-5,7154	-5,7177
ARCH-LM (5)	7,3394 (0,1966)	6,8565 (0,2315)	5,7295 (0,3334)
ARCH-LM (10)	9,3237 (0,5017)	8,7462 (0,5563)	7,6731 (0,6607)
ARCH-LM (15)	10,0087 (0,8192)	9,5039 (0,8497)	8,6167 (0,8967)
ARCH-LM (20)	14,6354 (0,7969)	13,7359 (0,8436)	11,9651 (0,9173)

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados, aquele que apresenta o melhor ajustamento é o EGARCH (1,1,1), com o menor BIC (-5,7194). O teste ARCH-LM evidencia que esse modelo elimina a heterocedasticidade condicional da série, decidindo-se pela não rejeição da hipótese nula de homocedasticidade ao nível de significância de 5,00%, com p-valores maiores ou iguais a 0,1966 considerando-se 5, 10, 15 e 20 *lags*. Esses resultados confirmam que a variância dos resíduos padronizados é constante.

Analisando-se as equações da média e da variância condicional, constata-se que todos os parâmetros estimados são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%. Isso permite realizar inferências seguras sobre as informações refletidas por esses coeficientes.

O coeficiente de reação estimado através do modelo ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) apresenta um valor baixo ($\alpha_1 = 0,0939$), mostrando que o efeito de um choque ocorrido no período t tem uma pequena influência sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período $t + 1$. Pode-se considerar também que os retornos diários do Índice reagem de forma pouco intensa aos movimentos do mercado, corroborando com os resultados encontrados pelos modelos ARMA (0,1) – ARCH (3) e ARMA (0,1) – GARCH (1,1).

O coeficiente de persistência estimado através do modelo ARMA (0,1) – EGARCH (1,1) apresenta um valor alto ($\beta_1 = 0,9740$). Depreende-se disso que 97,40% da volatilidade decursiva de um choque ocorrido no período $t - 1$ persiste sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa no período t , com uma inércia elevada, corroborando com os resultados encontrados pelos modelos ARMA (0,1) – GARCH (1,1) e ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1).

O valor do coeficiente de simetria estimado através do modelo ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) é negativo e estatisticamente significativo ao nível de significância de 5,00% ($\gamma_1 = -0,0637$). Isso possibilita inferir que os impactos de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa são assimétricos ($\gamma_1 \neq 0$) e que existe efeito alavancagem ($\gamma_1 < 0$), assim como constatado pelo modelo ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1).

Evidencia-se assim que choques negativos ($\varepsilon_{t-k} < 0$) têm maior impacto sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa do que choques positivos ($\varepsilon_{t-k} > 0$), aumentando a sua variância condicional em uma magnitude maior ($\alpha_1 + |\gamma_1| = 0,1576$). Isso decorre das oscilações pronunciadas nas pontuações de fechamento diárias do Índice, sendo a sua volatilidade mais sensível aos choques de origem adversa do mercado, corroborando com o resultado encontrado pelo modelo ARMA (0,3) – TGARCH (1,1,1).

Supondo que $\varepsilon_t \sim t_\nu$, as equações da média e da variância condicional dos retornos diários do Ibovespa, obtidas com base no modelo ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1), são, respectivamente:

$$R_t = -0,0853\varepsilon_{t-43} + \varepsilon_t,$$

$$\ln\sigma_t^2 = -0,2948 + 0,0939 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + 0,9740 \ln\sigma_{t-1}^2 - 0,0637 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right|.$$

Observa-se que na equação da média existe um fator de influência negativo entre os resíduos passados, enquanto que na equação da variância há um fator de influência positivo entre os erros quadráticos passados e as variâncias passadas. Isso mostra que aumentos da variância decorrentes de choques reduzem o retorno médio diário do Ibovespa.

Comparando-se os modelos ARMA (0,1) – ARCH (3), ARMA (0,1) – GARCH (1,1), ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1), observa-se que todos evidenciam que a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa é pouco reativa aos movimentos do mercado. Os modelos ARMA (0,1) – GARCH (1,1), ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) mostram que o efeito de um choque ocorrido no passado apresenta uma alta persistência sobre a volatilidade presente da série, com inércia elevada.

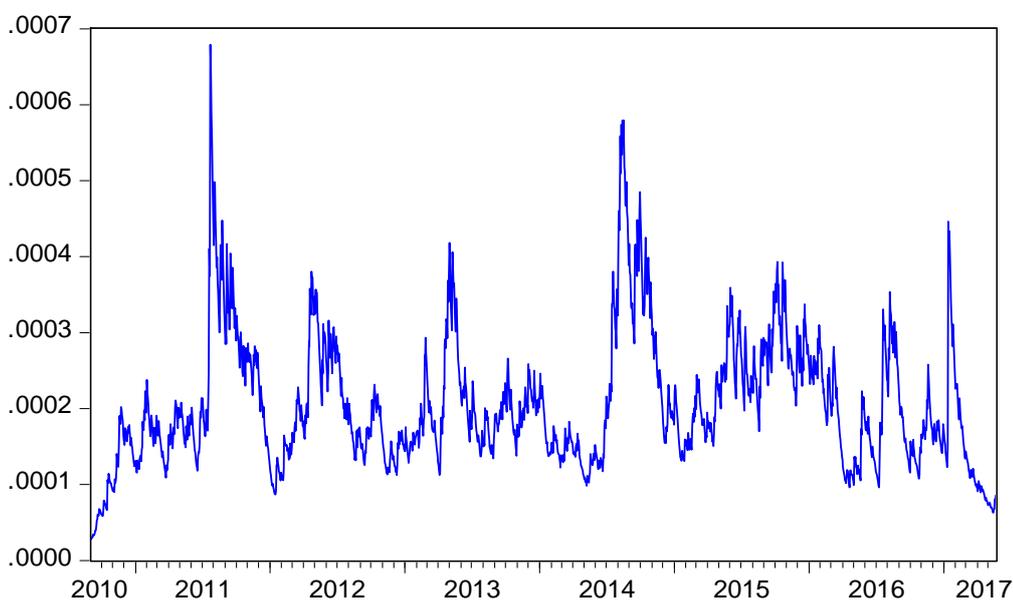
Os resultados encontrados através do modelo ARMA (0,1) – GARCH (1,1) revelam que a velocidade de reversão da variância condicional para a sua média histórica é baixa. Isso evidencia que o efeito de um choque deve demorar vários períodos para se dissipar, tornando a série consideravelmente volátil às dinâmicas do mercado.

Os modelos ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) e ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) indicam que o efeito de choques sobre a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa é assimétrico, com existência de efeito alavancagem, elucidando que notícias negativas têm um impacto de maior magnitude sobre a variância condicional da série do que notícias positivas. Todos os modelos estimados confirmam, através das equações da média e da variância condicional, que aumentos da volatilidade reduzem o retorno médio diário do Índice.

Entre os modelos concorrentes da classe ARCH, o ARMA (0,1) – TGARCH (1,1,1) e o ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) são os que apresentam os menores BIC (-5,7194), podendo ser considerados como os modelos que ajustam de forma mais adequada a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa em relação aos demais. Em um comparativo realizado entre esses dois modelos, escolhe-se o ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) uma vez que todos os seus parâmetros são estatisticamente significativos ao nível de significância de 5,00%, demonstrando ser o mais eficiente no ajustamento da dependência não linear da série

Com base na Figura 6, pode-se observar que eventos ocorridos no segundo semestre de 2011 e de 2014 ocasionaram uma alta considerável na volatilidade dos retornos diários do Ibovespa. Observa-se ainda que o ano de 2015 é marcado por uma intensa aglomeração de volatilidade, o que pode estar associado a um aumento da incerteza decorrente da instabilidade política e econômica que marca o país nesse período.

Figura 6 – Volatilidade estimada dos retornos diários do Ibovespa através do modelo ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

No que concerne aos fatos estilizados sobre os retornos financeiros, verifica-se que a série de retornos diários do Ibovespa atende a todos eles:

- i. Apresenta estacionariedade;
- ii. Apresenta uma fraca dependência linear e uma forte dependência não linear;
- iii. Apresenta agrupamentos de volatilidade ao longo do tempo;
- iv. Apresenta retornos não autocorrelacionados;
- v. Apresenta retornos quadráticos autocorrelacionados;
- vi. Apresenta heterocedasticidade condicional;
- vii. Apresenta distribuição incondicional com caudas mais pesadas do que as da normal, com excesso de curtose e presença de leptocurtose.

Os resultados revelam que os retornos diários do Ibovespa satisfazem o teste de eficiência da forma fraca da hipótese de mercados eficientes, sendo não autocorrelacionados. Como os retornos diários do Índice são independentes, torna-se possível diversificar o risco e maximizar o retorno esperado do portfólio. Além disso, uma carteira composta por ações de empresas listadas no Ibovespa não permite que os investidores obtenham retornos em excesso ajustados ao risco a partir das cotações passadas.

Como no processo de seleção do portfólio a partir das empresas listas no Ibovespa não se aplica a técnica de triagem, nada impede que sejam formadas carteiras diversificadas que possibilitem ao investidor reduzir o risco e a incerteza e maximizar o retorno esperado dado um certo nível de risco. Assim, a tradicional abordagem das finanças sobre os investidores racionais mostra-se aplicável à série de retornos diários do Ibovespa, não sendo violados os pressupostos da teoria moderna do portfólio e da hipótese de mercados eficientes.

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RETORNOS DIÁRIOS DO ICO₂ E DO IBOVESPA

Verifica-se que para o período abordado na pesquisa, o ICO₂ apresenta um retorno diário médio maior do que o Ibovespa. Além disso, constata-se que a amostra de retornos diários do ICO₂ tem as menores variações absoluta e relativa, indicando que os seus retornos diários possuem menos variabilidade comparativamente aos retornos diários do Ibovespa (Tabela 11).

Tabela 11 – Estatísticas descritivas dos retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa

Estatística	ICO₂	Ibovespa
Amostra	1.754	1.754
Média	0,0003	$5,8295 \times 10^{-5}$
Desvio Padrão	0,0129	0,0145
Coefficiente de Variação	40,80%	249,02%

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

O desvio padrão estimado para os retornos diários do ICO₂ é menor do que o desvio padrão estimado para os retornos diários do Ibovespa (Tabela 11). Isso sugere que o ICO₂ está associado a um nível de risco inferior ao Ibovespa. Assumindo-se que o desvio padrão e a

variância são considerados como sendo uma *proxy* da incerteza, a qual não pode ser definida estatisticamente (COSTA FILHO, 2014), pode-se aludir, com base nos resultados encontrados nessa pesquisa, que o ICO₂ representa investimentos menos arriscados do que o seu *benchmark* oficial, mesmo que esse possibilite aos investidores compor um portfólio mais diversificado.

Um possível fator explicativo para esse quadro situacional é o fato de que as empresas listadas no ICO₂, ao assumirem o compromisso voluntário de adotar práticas transparentes com relação as suas emissões de GEE, melhoram significativamente a sua imagem diante do mercado. Todavia, isso pode se traduzir em um maior grau de confiabilidade dos investidores para com essas organizações, sendo elas recompensadas pela sua conduta socioambiental positiva.

Considerando-se uma situação hipotética na qual uma mudança na legislação obrigue as empresas a remodelarem a forma como tratam as suas emissões, espera-se que as organizações que já vêm atuando de forma proativa nesse âmbito tenham uma maior facilidade em adaptar-se a essa nova conjuntura. No entanto, corporações que não apresentam um bom desempenho em sustentabilidade corporativa, terão maiores dificuldades de adaptação para cumprir a essa normativa, fato que, via de regra, afeta a sua imagem diante do mercado.

Deve-se considerar também o caso das empresas que desempenham atividades com algum tipo de risco de contaminação ambiental, que pode ser denominado como risco de evento, o qual refere-se a situações inesperadas que exercem um efeito significativo sobre o valor de mercado da companhia ou do ativo em questão. Essas, em situações adversas, como derramamentos de petróleo, vazamento de gases nocivos à saúde humana etc., terão as suas ações declinando, ao passo que as organizações que apresentam um alto desempenho em sustentabilidade corporativa estarão livres dessas intempéries.

Depreende-se que as organizações que não consideram os fatores ASG nas suas operações podem refletir um nível de risco mais elevado mesmo com a possibilidade de maior diversificação da carteira. De forma contrária, as empresas que apresentam uma conduta orientada para a sustentabilidade, como a transição para uma economia de baixo carbono, mostram-se menos arriscadas. Isso se traduz em oscilações nos preços dos ativos, as quais refletem a incerteza implícita a um determinado portfólio.

Um fator importante a ser ressaltado consiste na possibilidade das ações socialmente responsáveis apresentarem retornos financeiros superiores ao rendimento das ações convencionais (BAUER; KOEDIJK; OTTEN, 2005). Em uma situação na qual um alto desempenho da sustentabilidade corporativa está relacionado a uma melhor performance econômica das corporações, os retornos esperados dos ISR tendem a ser maiores do que os

retornos esperados dos investimentos convencionais, além de implicarem um baixo custo de mercado (MOLLET; ZIEGLER, 2014).

Utilizando-se os modelos da classe ARCH escolhidos como sendo os que melhor ajustam os retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa, tem-se um ARMA (p,q) – EGARCH (1,1,1) para os dois Índices. Esses modelos, com as equações da média e da variância condicional, são novamente apresentados no Quadro 17, juntamente dos seus critérios de informação BIC.

Quadro 17 – Modelos ARMA (p,q) – EGARCH (p,q,r) estimados para as séries de retornos diários do ICO₂ e do Ibovespa

Equações	ICO₂	Ibovespa
Média condicional	Modelos estimados	
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,1,1)
θ_3	-0,0343 (0,1524) ^{NS}	-0,0853 (0,0001)
θ_{18}	-0,0466 (0,0389)	–
θ_{43}	-0,0671 (0,0015)	–
Variância condicional	Modelo estimado	
Parâmetros	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,1,1)
ω	-0,2583 (0,0003)	-0,2948 (0,0000)
α_1	0,0839 (0,0001)	0,0939 (0,0000)
β_1	0,9778 (0,0000)	0,9740 (0,0000)
γ_1	-0,0611 (0,0000)	-0,0637 (0,0000)
Qualidade do ajustamento	Modelo estimado	
Critério de informação	EGARCH (1,1,1)	EGARCH (1,1,1)
BIC	-5,9559	-5,7194

Os valores entre parênteses são os p-valores dos parâmetros estimados e do teste ARCH-LM.

^{NS} indica os parâmetros estatisticamente não significativos ao nível de significância de 5,00%.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BM&FBOVESPA (2017).

Comparando-se os Índices com base nos modelos ARMA (0,3) – EGARCH (1,1,1) para o ICO₂ e ARMA (0,1) – EGARCH (1,1,1) para o Ibovespa, constata-se que nos dois casos na equação da média condicional há um fator de influência negativo das inovações passadas, enquanto que na equação da variância condicional existe um fator de influência positivo dos

erros quadráticos passados e das variâncias passadas. Isso sugere que aumentos da volatilidade reduzem o retorno diário médio do ICO₂ e do Ibovespa.

Analisando-se os coeficientes de reação estimados, verifica-se que o ICO₂ ($\alpha_1 = 0,0839$) é menos reativo aos movimentos do mercado do que o Ibovespa ($\alpha_1 = 0,0939$). Pode-se inferir que os retornos diários do ICO₂ reagem com uma intensidade menor ao efeito de um choque sobre a volatilidade do que os retornos diários do Ibovespa.

Os coeficientes de persistência estimados evidenciam que a volatilidade do ICO₂ ($\beta_1 = 0,9778$) apresenta maior inércia em relação à volatilidade do Ibovespa ($\beta_1 = 0,9740$). Isso significa que o efeito de um choque ocorrido no passado tem um impacto mais elevado sobre a volatilidade presente dos retornos diários do ICO₂ do que sobre a volatilidade presente dos retornos diários do Ibovespa.

Conforme evidenciado pelos modelos ARMA (0,3) – GARCH (1,1) e ARMA (0,1) – GARCH (1,1), os retornos diários do ICO₂ mostram-se menos voláteis aos movimentos do mercado do que os retornos diários do Ibovespa. Isso porque a soma entre o coeficiente de reação e o coeficiente de persistência é menor para o ICO₂ ($\alpha_1 + \beta_1 = 0,9699$) do que para o Ibovespa ($\alpha_1 + \beta_1 = 0,9753$), evidenciando que a velocidade de reversão da volatilidade para o nível da sua média história após a ocorrência de um choque, é mais alta nos retornos diários do ICO₂ do que nos retornos diários do Ibovespa.

Depreende-se disso que após a ocorrência de um choque, a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ deve retornar ao seu padrão de equilíbrio de forma mais rápida do que a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa. Portanto, o efeito de um choque deve se dissipar em um período de tempo mais curto no caso do ICO₂ do que no caso do Ibovespa. Esse resultado mostra que o ICO₂ apresenta uma menor volatilidade do que o Ibovespa e assim também níveis de risco e de incerteza mais baixos.

Com base nos coeficientes de simetria, verifica-se que tanto para a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ ($\gamma_1 = -0,0611$) como para a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa ($\gamma_1 = -0,0637$), o efeito de choques é assimétrico ($\gamma_1 \neq 0$). Evidencia-se também a presença de efeito alavancagem nos dois Índices ($\gamma_1 < 0$), mostrando que choques negativos aumentam mais a sua volatilidade do que choques positivos, com uma magnitude menor no ICO₂ ($\alpha_1 + |\gamma_1| = 0,1450$) do que no Ibovespa ($\alpha_1 + |\gamma_1| = 0,1576$).

O coeficiente de correlação de Pearson estimado para verificar a força e a existência de uma relação linear entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa, indica que há uma associação linear positiva entre essas duas variáveis, a qual pode ser considerada

como sendo muito forte ($r_{XY} = 0,9571$). O teste para a correlação sugere a não aceitação da hipótese nula ao nível de significância de 5,00%, indicando que ela é estatisticamente significativa.

Verificada a força e a existência de uma relação linear entre os retornos diários do ICO₂ e os retornos diários do Ibovespa, pode-se avaliar a qualidade desse ajustamento através do coeficiente de determinação. O coeficiente de determinação calculado ($R^2 = 0,9160$) revela que 91,60% das variações em torno da média dos retornos diários do ICO₂ (Ibovespa) são explicadas pelas variações em torno da média dos retornos diários do Ibovespa (ICO₂).

De modo geral, a realização de investimentos em empresas sustentáveis gera valor a longo prazo para os acionistas, uma vez que se considera que essas organizações estão mais preparadas para enfrentar riscos econômicos, sociais e ambientais (AUGUSTINI et. al, 2015). Justifica-se, dessa forma, porque o ICO₂ está associado a um nível de risco menor do que o Ibovespa, o qual não exclui da sua carteira teórica as corporações que atuam em segmentos passíveis de gerar impactos nocivos ao meio ambiente.

4.6 POTENCIALIDADES DO ICO₂ EM CONTRIBUIR PARA A SUSTENTABILIDADE

O ICO₂ consiste em um indicador que tem o seu desempenho resultante de um portfólio balizado por fatores que incorporam questões relacionadas às mudanças climáticas. Isso, somando ao seu compromisso de incentivar as empresas a atuarem em uma economia de baixo carbono, faz com que o Índice apresente determinadas potencialidades capazes de contribuir para reduzir as externalidades negativas decursivas do processo produtivo.

Esse Índice visa estimular uma conduta proativa das organizações em implementar operações de baixo carbono, dispensando a necessidade, por exemplo, de taxar a emissão de poluentes se essas práticas forem bem-sucedidas. Os resultados encontrados na presente pesquisa indicam que o ICO₂ também está associado a um nível de risco de mercado menor do que o Ibovespa. Isso pode se traduzir em uma maior confiabilidade para os investidores interessados nas ações das empresas que fazem parte da sua carteira teórica, aumentando a atratividade desses investimentos.

Assim, pode-se afirmar que o ICO₂ permite gerar um valor econômico para as corporações e para um segmento de investidores interessados em investir de forma ética e em observância às demandas socioambientais. Essas características possibilitam considerar esse Índice como sendo um instrumento importante na redução de externalidades negativas, eliminando inclusive situações de ineficiência econômica.

Isso resulta do fato de que as empresas listadas na carteira teórica do ICO_2 consideram os possíveis danos associados às suas atividades de produção sobre o meio ambiente e a sociedade, buscando formas de reduzi-los através da adoção de operações de baixo carbono. Depreende-se disso que os processos produtivos dessas organizações não geram custos sociais, o que não requer a sua saída do mercado. Pelo contrário, reduzindo os níveis de emissões, essas corporações contribuem para mitigar os efeitos nocivos do aquecimento global, gerando benefícios para todas as partes envolvidas, ou seja, externalidades positivas.

Esse processo é amplamente favorecido através das operações de alocação de recursos viabilizadas pelo mercado de capitais. Uma vez que os projetos das corporações resultem em externalidades positivas para os seus *stakeholders*, cria-se um valor positivo líquido para os acionistas interessados em ISR (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008). Nos casos em que os projetos das empresas originem externalidades negativas, não há motivação para apoiá-los (RENNEBOOG; HORST; ZHANG, 2008). Com efeito, os ISR tornam-se potenciais instrumentos para reduzir determinadas falhas de mercado, como o problema da degradação ambiental, sem impor custos adicionais aos agentes econômicos, como taxas e multas sobre uma possível conduta socioambiental inadequada.

Um investidor socialmente responsável investe o seu dinheiro em ações de empresas que apresentam uma conduta socioambiental de acordo com os critérios ASG, ao mesmo tempo em que penaliza as ações de corporações que não atendam a esses fatores ao não investir nelas (TRIPATHI; BHANDARI, 2015). Isso é capaz de estimular uma mudança do comportamento corporativo, incentivando as organizações a considerarem, além de resultados de natureza financeira, as questões ambientais e sociais nas suas agendas. A contrapartida seria a busca por modelos de produção que viabilizem a redução da degradação do meio ambiente e das inequidades sociais, sem desconsiderar a progressão econômica, geradora de emprego e renda.

Na medida em que o ICO_2 busca instigar as empresas a atuarem em uma economia de baixo carbono, incentivando a adoção de práticas transparentes com relação à divulgação das suas emissões de GEE, o Índice estimula um alto desempenho da sustentabilidade corporativa. Nesse âmbito, as empresas podem preparar-se para a implementação de operações de baixo carbono em termos de desenvolvimento de produtos, de processos produtivos e de atividades logísticas (BÖTTCHER; MÜLLER, 2015), o que torna possível a obtenção de vantagens competitivas sustentáveis no mercado (JABBOUR; JABBOUR, 2014).

Sob essa perspectiva, pode-se considerar que o ICO_2 , assim como os demais índices de sustentabilidade empresarial, faz parte de um conjunto de ações estratégicas, em termos de inteligência organizacional, capaz de canalizar recursos para as empresas e os seus acionistas.

A ênfase nas operações de baixo carbono permite gerar externalidades positivas beneficiando um grupo ainda maior de indivíduos distribuídos ao longo da cadeia de valor de uma organização. Torna-se importante ressaltar como as empresas podem adequar-se a esse novo paradigma produtivo quanto ao desenvolvimento de produtos, aos processos de produção e às atividades logísticas.

O desenvolvimento de produtos de baixo carbono implica avaliar a pegada de carbono implícita em cada etapa do ciclo de vida do bem produzido, mapeando as suas emissões durante todo o processo (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015). Além disso, pode-se implementar também uma abordagem de *design* ecológico, por meio da qual se busca direcionar cuidados especiais para com o meio ambiente nas fases de produção, de consumo e de utilização (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015).

A produção de baixo carbono apoia-se em processos produtivos capazes de resultar em menores emissões de dióxido de carbono (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015). Entre as principais práticas, destacam-se: i) a adoção de sistemas de informação com dados sobre emissões; ii) a implementação de métodos de gerenciamento de energia que permitam alcançar uma maior eficiência energética; iii) a substituição de energia fóssil por energia renovável em escala crescente; iv) a troca de matérias primas intensivas em carbono por insumos ecoeficientes; e v) a utilização de abordagens de reciclagem e de remanufatura nas atividades produtivas (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015).

A logística de baixo carbono envolve a adoção de sistemas de informação com dados sobre as emissões de dióxido de carbono durante as etapas das tarefas logísticas (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015). Abrange também a adesão de meios de transporte mais limpos e menos poluentes (JABBOUR; JABBOUR, 2014; BÖTTCHER; MÜLLER, 2015).

Com efeito, depreende-se que o ICO_2 representa um estímulo para a obtenção de uma resposta proativa do setor produtivo em aderir a uma economia de baixo carbono. Essa incursão pode inclusive atuar como uma alternativa à adoção de mecanismos tributários pelo governo, os quais visam um controle formal das emissões de GEE através, por exemplo, da implementação de impostos, de multas, do comércio de cotas etc. Assim, esse Índice possibilita que as empresas tenham uma maior liberdade em adequar as suas operações nos moldes de uma economia de baixo carbono, respondendo de forma ótima à essa transição sem comprometer a sua produtividade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa teve como objetivo geral explicitar a situação atual da inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro, através de uma análise empírica do Índice Carbono Eficiente (ICO₂). Para tanto, utilizou-se a série de retornos diários desse Índice, calculada a partir das suas pontuações de fechamento diárias, no período de 01 de setembro de 2010 até 30 de setembro de 2017. Posteriormente, os resultados encontrados foram comparados com os do Índice Bovespa (Ibovespa), o seu *benchmark* oficial, o qual é considerado o mais importante indicador do desempenho médio das cotações das ações negociadas na Bolsa de Mercadorias e de Futuros da Bolsa de Valores de São Paulo (BM&FBOVESPA).

Os resultados mostraram que os retornos diários do ICO₂ são autocorrelacionados e apresentam uma forte dependência linear. Isso, do ponto de vista da hipótese de mercados eficientes, viola o teste de eficiência da forma fraca. Adicionalmente, a aplicação da técnica de triagem para a composição da carteira incute que o Índice não possibilita aos investidores montar um portfólio diversificado que permita, ao mesmo tempo, maximizar o retorno esperado para um certo nível de risco e reduzir a incerteza.

Esse diagnóstico vai ao encontro do que sustenta a literatura existente sobre os ISR, a qual afirma que essa modalidade de investimentos não é passível de ser explicada pela teoria tradicional das finanças. Isso confirma, portanto, a hipótese (i) da presente pesquisa, fundamentada nesse pressuposto geral. Deve-se destacar ainda que a maior parte dos fatos estilizados sobre os retornos foram verificados na série de retornos diário do ICO₂ e que mesmo com a aplicação da técnica de triagem, o Índice permite compor um portfólio diversificado.

Desse modo, o fato do ICO₂ estar fora dos padrões da teoria tradicional das finanças, não implica, necessariamente, um risco maior e um retorno esperado menor do que os aferidos pelos investimentos convencionais. A complexidade dessa abordagem, enfatiza-se, ainda é motivo de controvérsias na literatura especializada, o que requer ultrapassar o conceito de retorno financeiro para uma definição de utilidade mais holística que permita explicar os ISR.

Observou-se que a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ reage de forma pouca intensa aos movimentos do mercado, apresentando uma inércia elevada e respondendo de forma assimétrica ao efeito de choques. Constatou-se também a presença do efeito alavancagem, por meio do qual evidenciou-se que notícias negativas apresentam um impacto de maior magnitude sobre a variância condicional dos retornos diários do Índice do que notícias positivas.

Verificou-se que a volatilidade dos retornos diários do ICO₂ reage com uma intensidade menor aos movimentos do mercado do que a volatilidade dos retornos diários do Ibovespa,

porém com uma inércia maior. Os resultados mostraram também que o ICO_2 é menos volátil às dinâmicas do mercado do que o Ibovespa. Isso confirma a hipótese (ii) da presente pesquisa, fundamentada no pressuposto de que as empresas sustentáveis estão mais preparadas para o enfrentamento de riscos econômicos, ambientais e sociais do que as empresas não sustentáveis, conforme sustenta a literatura consultada.

Reforçando a explicação atribuída à hipótese (ii), ressalta-se que as empresas não sustentáveis, ou que não são consideradas socialmente responsáveis, são impedidas de comporem a carteira teórica do ICO_2 pela técnica de triagem, a qual não é aplicada ao Ibovespa. Isso, portanto, possibilita considerar que o ICO_2 está exposto a níveis de risco e de incerteza menores do que o Ibovespa, em especial os riscos de evento, uma vez que esse último congrega corporações que atuam em segmentos passíveis de promover algum tipo de dano ambiental e social através das suas operações.

Torna-se importante considerar ainda o fato de que o ICO_2 é um índice de sustentabilidade e o Ibovespa é um índice amplo. Dessa forma, espera-se que o segundo seja mais sensível aos movimentos do mercado do que o primeiro.

Observou-se que existe uma relação linear positiva e muito forte entre os retornos diários do ICO_2 e os retornos diários do Ibovespa. Além disso, identificou-se que 91,60% das variações em torno da média dos retornos diários do ICO_2 (Ibovespa) são explicadas pelas variações em torno da média dos retornos diários do Ibovespa (ICO_2).

Além da análise empírica do ICO_2 , objetivou-se também apresentar as suas potencialidades em contribuir para reduzir as externalidades negativas decursivas do processo produtivo. O incentivo a realização de investimentos voltados para a descarbonização da economia pode contribuir para gerar externalidades positivas, uma vez que esses representam um estímulo para a obtenção de uma resposta proativa do universo corporativo em promover a sua transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono. Assim, as empresas teriam maior liberdade e maleabilidade para a implementação de operações de baixo carbono, respondendo de forma ótima à essa transição sem comprometer a sua produtividade.

A obtenção de lucros de mercado viabilizados pelas operações desenvolvidas no mercado de capitais, para as empresas e para os investidores, pode ter impactos que transcendem a visão economicista que se tem do mercado financeiro. Isso se reflete no crescimento da quantidade de agentes econômicos interessados em aderir aos fatores ASG, o que tem como contrapartida a redução, mesmo que no longo prazo, dos impactos adversos gerados pelo aquecimento global. Ou seja, incentivar a adoção de padrões sustentáveis nos

processos de produção das firmas, como as operações de baixo carbono, possibilita reduzir as externalidades negativas e aumentar as externalidades positivas, indo ao encontro do que sustenta a hipótese (iii) da presente pesquisa.

Desse modo, o *trade-off* entre o crescimento econômico, a preservação ambiental e a progressão social é atenuado no âmbito de uma economia verde, que busca incentivar práticas produtivas de baixo carbono e assim alavancar o desenvolvimento sustentável. O mercado financeiro, por deter capacidade monetária no fomento de ações capazes de minimizar os efeitos adversos provocados pelas mudanças climáticas, pode ser considerado um aliado da sustentabilidade. Especificamente, através da criação de índices de sustentabilidade que permitam gerar valor para as empresas e para os investidores interessados em critérios ASG.

Nesse cenário, o ICO₂ apresenta uma dupla potencialidade. Ao mesmo tempo em que estimula a implementação de operações de baixo carbono nas organizações, contribui para avançar nas discussões sobre a sustentabilidade através da inserção desse elemento no mercado financeiro, não obstante caracterize uma forma de sustentabilidade fraca. Essa incursão mostra-se capaz reduzir o *trade-off* entre o crescimento econômico, a preservação do meio ambiente e a progressão social, uma vez que incentiva o setor produtivo a aderir, de modo não impositivo, a uma economia de baixo carbono no contexto de uma economia verde. Isso torna o alcance do desenvolvimento sustentável mais próximo de se tornar algo concreto, permitindo reduzir determinados conflitos de interesse entre as dimensões desse paradigma.

As empresas podem implementar operações de baixo carbono em termos de desenvolvimento de produtos, de processos produtivos e de tarefas logísticas. Uma vez que os seus projetos resultem em externalidades positivas para os seus *stakeholders*, cria-se um valor positivo líquido para os acionistas interessados em ISR. Essa é uma forma das empresas ampliarem o seu capital e de canalizarem recursos para viabilizar a inserção de práticas sustentáveis nas suas atividades, beneficiando a todas as partes interessadas.

A principal contribuição da presente pesquisa traduz-se em mostrar que a inserção da sustentabilidade no mercado financeiro brasileiro apresenta potencialidades em beneficiar a transição de uma economia intensiva na utilização de combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono. Esse processo pode ser facilitado pelo mercado de capitais, a exemplo da criação do ICO₂, que estimula as empresas e adequarem as suas operações conforme esse novo paradigma produtivo através de uma ação não impositiva, de modo que se cria valor para todas as partes interessadas. Tal medida possibilita atender aos interesses de natureza financeira das organizações e dos investidores, além de favorecer a sociedade e o meio ambiente.

Além disso, o estudo empreendido permite avançar nas discussões que gravitam em torno das abordagens teóricas sobre os ISR através do diagnóstico empírico realizado quanto aos retornos diários do ICO_2 , em que foi aplicada uma metodologia específica para a análise da volatilidade de séries temporais financeiras. Oferece também um quadro situacional que pode ser utilizado para auxiliar as decisões de investimento tomadas por agentes econômicos interessados nos critérios ASG, podendo ampliar a quantidade de empresas e de investidores socialmente responsáveis no mercado brasileiro, uma vez que evidenciou que os ISR são atrativos nesse cenário.

Uma das principais limitações da presente pesquisa foi não encontrar estudos similares com a aplicação da metodologia utilizada para os retornos diários do ICO_2 , impossibilitando realizar comparações com resultados de outros autores. Outra limitação, de caráter metodológico, foi a incompatibilidade observada entre o tratamento de alguns dos coeficientes dos modelos da classe ARCH em estudos que abordaram esses métodos, ocasionando algumas dúvidas em relação a sua interpretação.

Para o desenvolvimento de pesquisas futuras, sugere-se analisar os retornos das ações das empresas listadas no ICO_2 , tendo em vista comparar o seu desempenho com o de organizações consideradas não sustentáveis. Ressalta-se também a necessidade de empreender estudos que objetivem uma caracterização do perfil dos investidores de ISR no Brasil, como forma de elucidar as principais motivações em torno da realização desses investimentos.

REFERÊNCIAS

- AIUBE, F. A. A. **Modelos quantitativos em finanças com enfoque em *commodities***. 1 Ed. São Paulo: Bookman Companhia Editora Ltda., 2011.
- ALDRIGHI, D. M.; MILANEZ, D. Y. Finança comportamental e a hipótese dos mercados eficientes. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.41-72, jan./abr. 2005.
- ALMEIDA, L. T. de. Economia verde: a reiteração de ideias à espera de ações. **Estudos Avançados**, 26(74), p.93-103, 2012.
- ALVES, M. W. F. M.; JABBOUR, A. B. L. S.; KANNAN, D.; JABBOUR, C. J. C. Contingency theory, climate change, and low-carbon operations management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v.22, n.3, p.223-236, 2017.
- AMINI, M.; BIENSTOCK, C. C. Corporate sustainability: an integrative definition and framework to evaluate corporate practice and guide academic research. **Journal of Cleaner Production**, v.76, p.12-19, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES DOS MERCADOS FINANCEIRO E DE CAPITAIS. **1ª pesquisa de sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.anbima.com.br/data/files/92/C1/06/9B/A32085106351AF7569A80AC2/_anbima_relatoriosustentabilidade_final_1_.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2017.
- ARAS, G.; CROWTHER, D. Sustainable practice: the real triple bottom line. **Developments in Corporate Governance and Responsibility**, v.5, p.1-18, 2013.
- ARAÚJO, J. M. de; LEITE FILHO, P. A. M. Modelagem da volatilidade apresentada pelos índices IVBX-2 e SMLL em 2008 usando modelos da família ARCH. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v.13, n.14, p.99-120, jul./ago. 2012.
- ARNOLD, M. Fostering sustainability by linking co-creation and relationship management concepts. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p.179-188, 2017.
- AGUSTINI, C. A. di; ALMEIDA, C. M. V. B. de; AGOSTINHO, F. D. R.; GIANNETTI, B. F. Avaliação de impacto da escala econômica na dimensão ambiental das empresas do ISE da BM&FBOVESPA conforme parâmetros da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 10.165). **Gestão e Produção**, São Carlos, v.22, n.1, p.96-106, 2015.
- BANCO DO BRASIL. **As mudanças climáticas: riscos e oportunidades**. Disponível em: <<http://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/uds/dwn/mudclimatica.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2017.
- BAUER, R.; KOEDIJK, K.; OTTEN, R. International evidence on ethical mutual fund performance and investment style. **Journal of Banking & Finance**, v.29, p.1751-1767, 2005.
- BAUMGARTNER, R. J.; RAUTER, R. Strategic perspectives of corporate sustainability management to develop a sustainable organization. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p.81-92, 2017.

BEAL, D. J.; GOYEN, M.; PHILLIPS, P. Why do we invest ethically? **The Journal of Investing**, p.66-77, 2005.

BECCHETTI, L.; CICIRETTI, R.; HASAN, I.; KOBEISSI, N. Corporate social responsibility and shareholder's value. **Journal of Business Research**, v.65, p.1628-1635, 2012.

BELLO, Z. Y. Socially responsible investing and portfolio diversification. **The Journal of Financial Research**, v.28, n.1, p.41-57, 2005.

BENNETT, M. S.; IQBAL, Z. How socially responsible investing can help bridge the gap between Islamic and conventional financial markets. **International Journal of Islamic and Middle Eastern Finance and Management**, v.6, n.3, p.211-225, 2013.

BERRY, T. C.; JUNKUS, J. C. Socially responsible investing: an investor perspective. **Journal of Business Ethics**, v.112, p.707-720, 2013.

BERRY, T. C.; JUNKUS, J. C. The demographic profile of socially responsible investors. **Managerial Finance**, v.36, n.6, p.474-481, 2010.

BERTRAND, P.; LAPOINTE, V. How performance of risk-based strategies is modified by socially responsible investment universe? **International Review of Financial Analysis**, v.38, p.175-190, 2015.

BINMAHFOUZ, S.; HASSAN, M. K. Sustainable and socially responsible investing: does Islamic investing make a difference? **Humanomics**, v.29, n.3, p.164-186, 2013.

BLÁZQUEZ, M.; PERETTI, M F. Modelo para gestionar la sustentabilidad de las organizaciones a través de la rentabilidad, adaptabilidad e imagen. **Estudios Gerenciales**, v.28, p.40-50, 2012.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Carteira teórica do ICO₂ válida para o quadrimestre Jan. a Abr. 2018**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2-composicao-da-carteira.htm>. Acesso em: 15 fev. 2018.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Sustentabilidade: oportunidade de negócios no setor de intermediação**. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/portal/pages/newsletter/bmfbovespa/Folheto_ESG_B3_Bi.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Índice Carbono Eficiente - ICO₂**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2.htm>. Acesso em: 12 dez. 2017.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Índice Bovespa - Ibovespa**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-amplos/indice-bovespa-ibovespa.htm>. Acesso em: 12 dez. 2017.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Estatísticas Históricas – Evolução Diária**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2-estatisticas-historicas.htm>. Acesso em: 20 set. 2017.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS DA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Estatísticas Históricas – Evolução Diária**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-amplos/indice-ibovespa-ibovespa-estatisticas-historicas.htm>. Acesso em: 20 set. 2017.

BONE, R. B.; RIBEIRO, E. P. Eficiência fraca, efeito dia da semana e efeito feriado no mercado acionário brasileiro: uma análise empírica sistemática e robusta. **Revista de Administração Contemporânea**, v.6, n.1, p.19-37, jan./abr. 2002.

BONELLI, V. V.; LAZZARESCHI, N. Empregos verdes e sustentabilidade: tendências e desafios no Brasil. **Revista de Ciências Sociais**, Fortaleza, v.46, n.1, p.221-242, jan./jun. 2015.

BÖTTCHER, C. F.; MÜLLER, M. Drivers, Practices and outcomes of low-carbon operations: approaches of german automotive suppliers to cutting carbon emissions. **Business Strategy and the Environment**, v.24, p.477-498, 2015.

BRITO, R.; GONZALEZ, L. Finanças sustentáveis. **GV executivo**, v.6, n.6, p.41-45, nov./dez. 2007.

BRZESZCZYNSKI, J.; MCINTOSH, G. Performance of portfolios composed of british SRI stocks. **Journal of Business Ethics**, v.120, p.335-362, 2014.

BUENO, R. L. S. **Econometria de séries temporais**. 2 Ed. São Paulo: Cengage Learnig, 2011.

CASTRO, L. S.; SILVA JÚNIOR, A. G. Análise da volatilidade de preços do óleo de girassol no Brasil de 1960 a 2011. **Revista de Política Agrícola**, ano XXII , n.2, p.76-84, abr./mai./jun. 2013.

CAVALCANTI, C. Sustentabilidade: mantra ou escolha moral? Uma abordagem ecológico-econômica. **Estudos Avançados**, 26(74), p.35-50, 2012.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, 24(68), p.53-67, 2010.

CECHIN, A.; PACINI, H. Economia verde: por que o otimismo deve ser aliado ao ceticismo da razão. **Estudos Avançados**, 26(74), p.121-135, 2012.

CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v.30, n.3(119), p.438-454, jul./set. 2010.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430p.

COPP, R.; KREMMER, M. L.; ROCA, E. Should funds invest in socially responsible investments during downturns? Financial and legal implications of the fund manager's dilemma. **Accounting Research Journal**, v.23, n.3, p.254-266, 2010.

CORREA-MACANA, E.; COMIM, F. Mudança climática e desenvolvimento humano: uma análise baseada na Abordagem das Capacitações de Amartya Sen. **Economía, Sociedad y Territorio**, v.XIII, n.43, p.577-618, 2013.

COSTA FILHO, A. E. da. Incerteza e atividade econômica no Brasil. **Economia Aplicada**, v.18, n.3, p.421-453, 2014.

COTTER, J.; NAJAH, M. M. Corporate climate change disclosure practices and regulation: the influence of institutional investors. **Institutional Investors' Power to Change Corporate Behavior: International Perspectives Critical Studies on Corporate Responsibility, Governance and Sustainability**, v.5, p.81-97, 2013.

CRISTÓFALO, R. G.; AKAKI, A. S.; ABE, T. C.; MORANO, R. S.; MIRAGLIA, S. G. E. K. Sustentabilidade e o mercado financeiro: estudo do desempenho de empresas que compõem o Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE). **REGE - Revista de Gestão**, v.23, p.286-297, 2016.

CUNHA, F. A. F. S.; SAMANEZ, C. P. Análise de desempenho dos investimentos sustentáveis no mercado acionário brasileiro. **Production**, v.24, n.2, p.420-434, apr./jun. 2014.

CUNHA, F. A. F. S.; SAMANEZ, C. P. Performance analysis of sustainable investments in the Brazilian stock market: a study about the Corporate Sustainability Index (ISE). **Journal Business Ethics**, v.117, p.19-36, 2013.

DAM, L.; HEIJDRÁ, B. J. The environmental and macroeconomic effects of socially responsible investment. **Journal of Economic Dynamics & Control**, v.35, p.1424-1434, 2011.

DAS, P. K.; RAO, S. P. U. Performance evaluation of socially responsible mutual funds using style analysis. **Social Responsibility Journal**, v.9, n.1, p.109-123, 2013.

DINIZ, E. M.; BERMAN, C. Economia verde e sustentabilidade. **Estudos Avançados**, 26(74), p.323-329, 2012.

DORFLEITNER, G.; UTZ, S. Profiling German-speaking socially responsible investors. **Qualitative Research in Financial Markets**, v.6, n.2, p.118-156, 2014.

DOU, X. The essence, feature and role of low carbon economy. **Environment, Development and Sustainability**, v.17, p.123-136, 2015.

DUAN, Y.; MU, H.; LI, N.; LI, L.; XUE, Z. Research on comprehensive evaluation of low carbon economy development level based on AHP-Entropy method: a case study of Dalian. **Energy Procedia**, v.104, p.468-474, 2016.

ENGERT, S.; BAUMGARTNER, R. J. Corporate sustainability strategy e bridging the gap between formulation and implementation. **Journal of Cleaner Production**, v.113, p.822-834, 2016.

ENGERT, S.; RAUTER, R.; BAUMGARTNER, R. J. Exploring the integration of corporate sustainability into strategic management: a literature review. **Journal of Cleaner Production**, v.112, p.2833-2850, 2016.

FAMA, E. F. Random walks in stock market prices. **Financial Analysts Journal**, p.75-80, jan./feb. 1995.

FAMA, E. F. Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. **The Journal of Finance**, v.25, n.2, p.383-417, may. 1970.

FRANCESCO A. J. de; LEVY, D. The impact of sustainability on the investment environment. **Journal of European Real Estate Research**, v.1, n.1, p.72-87, 2008.

FREITAS, C. A. de.; SÁFADI, T. Volatilidade dos retornos de *commodities* agropecuárias brasileiras: um teste utilizando o modelo APARCH. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v.53, n.2, p.211-228, abr./jun. 2015.

GALLO, E.; SETTI, A. F. F.; MAGALHÃES, D. P.; MACHADO, J. M. H.; BUSS, D. F.; FRANCO NETTO, F. A.; BUSS, P. M. Saúde e economia verde: desafios para o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17(6), p.1457-1468, 2012.

GARCIA, S.; CINTRA, Y.; TORRES, R. C. S. R.; LIMA, F. G. Corporate sustainability management: a proposed multi-criteria model to support balanced decision-making. **Journal of Cleaner Production**, v.136, p.181-196, 2016.

GETZNER, M. Weak and strong sustainability indicators and regional environmental resources. **Environmental Management and Health**, v.10, n.3, p.170-176, 1999.

GIL-BAZO, J.; RUIZ-VERDÚ, P.; SANTOS, A. A. P. The performance of socially responsible mutual funds: the role of fees and management companies. **Journal of Business Ethics**, v.94, p.243-263, 2010.

GONZALEZ-PEREZ, M. A.; LEONARD, L. The global compact: corporate sustainability in the post 2015 world. **Beyond the UN Global Compact: Institutions and Regulations Advances in Sustainability and Environmental Justice**, v.17, p.1-19, 2015.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. 5 Ed. Amgh Editora Ltda., 2011.

HAMILTON, S.; JO, H.; STATMAN, M. Doing well while doing good? the investment performance of socially responsible mutual funds. **Financial Analysts Journal**, v.49, n.6, p.62-66, nov./dec. 1993.

HEBB, T.; LOUCHE, C.; HACHIGIAN, H. Exploring the societal impacts of SRI. **Critical Studies on Corporate Responsibility, Governance and Sustainability**, v.7, p.3-20, 2014.

HEDIGER, W. Reconciling “weak” and “strong” sustainability. **International Journal of Social Economics**, v.26, n.7/8/9, p.1120-1143, 1999.

HUI, Y.; CUI-XIA, L.; YAO, C.; RAO, F. Developing potential of low-carbon agriculture in Heilongjiang Province. **Journal of Northeast Agricultural University**, v.19, n.1, p.91-96, mar. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES. **Os investimentos responsáveis e os desafios para o RI**. Cadernos IBRI – Série Sustentabilidade. [2011?] dada provável. 27p. Disponível em: <http://www.ibri.com.br/Upload/Conteudo/IBRI_Caderno_2.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Avaliação do Fundo Clima**. 2016. 109 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/170126_livro_s1601337_pt.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change: Summary for Policymakers – Technical Summary**. 2015. 141 p. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/WGIIIAR5_SPM_TS_Volume.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

JABBOUR, C. J. C.; JABBOUR, A. B. L. S. Low-carbon operations and production: putting training in perspective. **Industrial and Commercial Training**, v.46, n.6, p.327-331, 2014.

JACOBI, P. R.; SINISGALLI, P. A. A. Governança ambiental e economia verde. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17(6), p.1469-1478, 2012.

JONES, S.; LAAN, S. V. D.; FROST, G.; LOFTUS, J. The investment performance of socially responsible investment funds in australia. **Journal of Business Ethics**, v.80, p.181-203, 2008.

JUNKUS, J. C.; BERRY, T. C. Socially responsible investing: a review of the critical issues. **Managerial Finance**, v.41, n.11, p.1176-1201, 2015.

JUNKUS, J. C.; BERRY, T. C. The demographic profile of socially responsible investors. **Managerial Finance**, v.36, n.6, p.474-481, 2010.

KÜHN, D. D. Desenvolvimento rural: afinal, sobre o que estamos falando? **Redes**, v.20, n.2, p.11-30, mai./ago. 2015.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 6 Ed. São Paulo: Atlas, 2011.

LEAL, R. A.; ELY, R. A.; UHR, J. G. Z.; UHR, D. A. P. Ciclos econômicos e emissão de CO₂ no Brasil: uma análise dinâmica para políticas ambientais ótimas. **Revista Brasileira de Economia – RBE**, Rio de Janeiro v.69, n.1, p.53-73, jan./mar. 2015.

LEAN, H. H.; ANG, W. R.; SMYTH, R. Performance and performance persistence of socially responsible investment funds in Europe and North America. **The North American Journal of Economics and Finance**, v.34, p.254-266, nov. 2015.

LIMA, L. A. O. Auge e declínio da hipótese de mercados eficientes. **Revista de Economia Política**, v.23, n.4(92), p.28-42, out./dez. 2003.

LLORET, L. Modeling corporate sustainability strategy. **Journal of Business Research**, v.69, p.418-425, 2016.

LOZANO, R.; CARPENTER, A.; HUISINGH, D. A review of “theories of the firm” and their contributions to corporate sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v.106, p.430-442, 2015.

LOZANO, R. Towards better embedding sustainability into companies systems: an analysis of voluntary corporate initiatives. **Journal of Cleaner Production**, v.25, p.14-26, 2012.

LULEWICZ-SAS, A.; KILON, J. The effectiveness of SRI funds in Poland. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, n.156, p.194-197, 2014.

MARKOVÁ, V.; LESNÍKOVÁ, P. Utilization of corporate sustainability concept at selected enterprises in Slovakia. **Procedia Economics and Finance**, v.34, p.630-637, 2015.

MARKOWITZ, H. M. Foundations of portfolio theory. **The Journal of Finance**, v.46, n.2, p.469-477, jun. 1991.

MARKOWITZ, H. M. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v.7, n.1, p.77-91, mar. 1952.

MARTINES, G.; ALVES, J. E. D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade? **Revista Brasileira de Estudos de População**, Rio de Janeiro, v.32, n.3, p.433-460, set./dez. 2015.

MCPHEE, W. A new sustainability model: engaging the entire firm. **Journal of Business Strategy**, v.35, n.2, p.4-12, 2014.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n.16, p.22-41, 2004.

MOLLET, J. C.; ZIEGLER, A. Socially responsible investing and stock performance: new empirical evidence for the US and European stock markets. **Review of Financial Economics**, v.23, n.4, p.208-2016, nov. 2014.

MORAES, G. I. de.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Brasil, mudanças climáticas e economia: o que há estabelecido? **Planejamento e Políticas Públicas**, n.41, p.173-197, jul./dez. 2013.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. 1 Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

MORIOKA, S. N.; CARVALHO, M. M. Measuring sustainability in practice: exploring the inclusion of sustainability into corporate performance systems in Brazilian case studies. **Journal of Cleaner Production**, v.136, p.123-133, 2016.

MOTA, C. C. P.; OLIVEIRA, M. C. Volatilidade dos retornos das ações da Braskem no período de 2005 a 2014: uma análise a partir do modelo Autorregressivo com Heterocedasticidade Condicional (ARCH). **Reflexões Econômicas**, v.1, n.1, p.11-30, abr./set. 2015.

MOZZER, G. B. Agropecuária no contexto da economia de baixo carbono. In: MOTTA, R. S. da. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011, cap.6, p.111-125.

MUELLER, C. C. O debate dos economistas sobre a sustentabilidade: uma avaliação sob a ótica da análise do processo produtivo de Georgescu-Roegen. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v.35, n.4, p.687-713, out./dez. 2005.

NASCIMENTO, E. P. do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, 26(74), p.51-64, 2012.

NOBANEE, H.; ELLILI, N. Corporate sustainability disclosure in anual reports: Evidence from UAE banks: Islamic versus conventional. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.55, p.1336-1341, 2016.

OH, C. H.; PARK, J. H.; GHOURI, P. N. Doing right, investing right: socially responsible investing and shareholder activism in the financial sector. **Business Horizons**, v.56, n.6, p.1-12, 2013.

OLIVEIRA, L. L. S. de; PORTO JÚNIOR, S. S. O desenvolvimento sustentável e a contribuição dos recursos naturais para o crescimento econômico. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v.38, n.1, p.103-119, jan./mar. 2007.

ORSATO, R. J.; GARCIA, A.; SILVA, W. M. da; SIMONETTI, R.; MONZONI, M. Sustainability indexes: why join in? A study of the 'Corporate Sustainability Index (ISE)' in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v.96, p.161-170, 2015.

ORTAS, E.; BURRITT, R. L.; MONEVA, J. M. Socially responsible investment and cleaner production in the Asia Pacific: does it pay to be good? **Journal of Cleaner Production**, v.52, p.272-280, aug. 2013.

ORTAS, E.; MONEVA, J. M.; SALVADOR, M. Does socially responsible investment equity indexes in emerging markets pay off? evidence from Brazil. **Emerging Markets Review**, v.13, p.581-597, 2012.

OTHMAN, R.; AMEER, R. Finance and sustainability – resources, capabilities, and rewards. **Ethics, Governance and Corporate Crime: Challenges and Consequences Developments in Corporate Governance and Responsibility**, v.6, p.19-45, 2014.

PAULI, R. I. P.; GRECO, L. F.; SCHULZ, J. R. S.; ZAJONZ, B. T. Incentivos governamentais e demanda por empregos verdes nos setores público e privado do Brasil. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v.27, p.36-47, 2017.

PEIFER, J. L. Socially responsible investing and the power to do good: whose dollars are being heard? **Religion, Work and Inequality Research in the Sociology of Work**, v.23, p.103-129, 2012.

PINDICK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 7 Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010.

PEYLO, B. T. Rational socially responsible investment. **Corporate Governance**, v.14, n.5, p.699-713, 2014.

POLANCO, J.; RAMÍREZ, F.; OROZCO, M. Incidencia de estándares internacionales en la sostenibilidad corporativa: una perspectiva de la alta dirección. **Estudios Gerenciales**, v.32, p.181-192, 2016.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Rumo a uma economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza**. PNUMA: 2011. Disponível em: <https://web.unep.org/greeneconomy/sites/unep.org/greeneconomy/files/field/image/green_economy_full_report_pt.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2017.

PUASCHUNDER, J. M. Socio-psychological motives of socially responsible investors. **Advances in Financial Economics**, v.19, p.209-247, 2017.

RATIU, C.; ANDERSON, B. B. The multiple identities of sustainability. **World Journal of Science, Technology and Sustainable Development**, v.12, n.3, p.194-205, 2015.

RENNEBOOG, L.; HORST, J. T.; ZHANG, C. Socially responsible investments: institutional aspects, performance, and investor behavior. **Journal of Banking & Finance**, v.32, p.1723-1742, 2008.

REVELLI, C. Socially responsible investing (SRI): From mainstream to margin? **Research in International Business and Finance**, v.39, p.711-717, 2017.

REVELLI, C. Re-embedding financial stakes within ethical and social values in socially responsible investing (SRI). **Research in International Business and Finance**, v.38, p.1-5, 2016.

RIVOLI, P. Ethical aspects of investor behavior. **Journal of Business Ethics**, v.14, p.265-277, 1995.

ROCA, E.; WONG, V. S. H.; TULARAM, G. A. Are socially responsible investment markets worldwide integrated? **Accounting Research Journal**, v.23, n.3, p.281-301, 2010.

ROCHA, S. **Estatística geral e aplicada para cursos de Engenharia**. 2 Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2015.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, 26(74), p.65-92, 2012.

ROSA, F. S. da; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; MENEZES, E. Investimentos socialmente responsáveis (ISR): uma análise comparativa sobre diversificação de carteira. **Revista Catarinense da Ciência Contábil – CRCSC**, Florianópolis, v.9, n.25, p.33-45, dez./mar. 2010.

SADORSKY, P. Modeling volatility and conditional correlations between socially responsible investments, gold and oil. **Economic Modelling**, v.38, p.609-618, 2014.

SAMPAIO, A. V. Teste de passeio aleatório no mercado financeiro brasileiro entre 2000-2010. **Revista Brasileira de Economia de Empresas (RBEE)**, 12(1): p.21-43, 2012.

SAUFI, N. A. A.; DAUD, S.; HASSAN, H. Green growth and corporate sustainability performance. **Procedia Economics and Finance**, v.35, p.374-378, 2016.

SCHNEIDER, A.; MEINS, E. Two dimensions of corporate sustainability assessment: towards a comprehensive framework. **Business Strategy and the Environment**, v.21, p.211-222, 2012.

SMITH, M. L. The origins of the sustainability concept: risk perception and resource management in early urban centers. **Climate Change, Culture, and Economics: Anthropological Investigations**, v.35, p.215-238, 2015.

SOLER-DOMÍNGUEZ, A.; MATALLÍN-SÁEZ, J. C. Socially (ir)responsible investing? The performance of the VICEX Fund from a business cycle perspective. **Finance Research Letters**, v.16, p.190-195, 2016.

SOUZA, Z. J. de; BIGNOTTO, E. C. Teoria do portfólio: composição ótima de carteira de investimento. **Economia e Pesquisa**, Araçatuba, v.1, n.1, p.61-78, 1999.

TAYRA, F. Capital natural e graus de sustentabilidade: visões de mundo e objetivos conflitantes. **Pensamento e Realidade**, v.19, n.19, p.100-118, 2006.

THOMAS, J. M.; CALLNAN, S. J. **Economia Ambiental: fundamentos, políticas e aplicações**. Cengage Learning, 2010.

TRIPATHI, V.; BHANDARI, V. Socially responsible stocks: a boon for investors in India. **Journal of Advances in Management Research**, v.12, n.2, p.209-225, 2015.

TYRTANIA, L. La sustentabilidad es de quien la trabaja. **Cultura y Representaciones Sociales**, v.10, n.20, p.59-109, mar. 2016.

VARGAS, L. Corporate social responsibility and financial performance: GIC's share prices value impact – event study. **Corporate Responsibility and Stakeholding Developments in Corporate Governance and Responsibility**, v.10, p.165-177, 2016.

VEIGA, J. E. da. A primeira utopia do antropoceno. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v.20, n.2, p.233-252, abr./jun. 2017.

VEIGA, J. E. da. O âmago da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, 28(82), p.7-23, 2014.

VEIGA, J. E. da. Indicadores de sustentabilidade. **Estudos Avançados**, 24(68), p.39-52, 2010.

VILDÅSEN, S. S; KEITSCH, M; FET, A. M. Clarifying the epistemology of corporate sustainability. **Ecological Economics**, v.138, p.40-46, 2017.

XIAOWEI, Y.; XING, J. Low-carbon economy and low-carbon food. **Energy Procedia**, v.5, p.1099-1103, 2011.

XIE, H. Legal regulation of low-carbon economy. **IERI Procedia**, v.8, p.70-175, 2014.

XIN, X.; YUDING, W.; JIANZHONG, W. The problems and strategies of the low carbon economy development. **Energy Procedia**, v.5, p.1831-1836, 2011.

WALL, L. D. Some lessons from basic finance for effective socially responsible investing. **Economic Review (Federal Reserve Bank of Atlanta)**, p.1-12, jan. 1995.

WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Gestão & Produção**, v.10, n.1, p.47-67, abr. 2003.

WILSON, C. Why should sustainable finance be given priority? Lessons from pollution and biodiversity degradation. **Accounting Research Journal**, v.23, n.3, p.267-280, 2010.

YAN, S.; FERRARO, F. State mediation in market emergence: socially responsible investing in China, **Research in the Sociology of Organizations**, v.48B, p.173-206, 2017.

ZAMCOPE, F. C.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Construção de um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa: um estudo de caso na indústria têxtil. **Gestão e Produção**, São Carlos, v.19, n.2, p.303-321, 2012.