

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE**  
**DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

Guilherme Tadiello

**HIGH-FREQUENCY TRADING E EFICIÊNCIA INFORMACIONAL: UMA**  
**ANÁLISE EMPÍRICA DO MERCADO DE CAPITAIS BRASILEIRO NO PERÍODO**  
**2007-2015**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Backx Noronha Viana

São Paulo  
2016

Prof. Dr. Marco Antonio Zago  
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Adalberto Américo Fischmann  
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Roberto Sbragia  
Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Júnior  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

**GUILHERME TADIELLO**

**HIGH-FREQUENCY TRADING E EFICIÊNCIA INFORMACIONAL: UMA  
ANÁLISE EMPÍRICA DO MERCADO DE CAPITAIS BRASILEIRO NO PERÍODO  
2007-2015**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração do Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Backx Noronha Viana**

Versão Corrigida

(versão original disponível na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade)

São Paulo

2016

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Tadiello, Guilherme

High-frequency trading e eficiência informacional: uma análise empírica do mercado de capitais brasileiro no período de 2007-2015 / Guilherme Tadiello. – São Paulo, 2016.

138 p.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2016.

Orientador: Adriana Backx Noronha Viana.

1. Mercado de capitais 2. Finanças 3. Ações 4. Tecnologia da informação I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 332.041

## **Agradecimentos**

Aos meus pais, Arlete e Carlos, pelo apoio, dedicação e preocupação com a educação durante toda a minha vida. À minha irmã e familiares pelo apoio.

À professora. Adriana Backx pelo seu trabalho sério e constante incentivo no seu papel de orientadora, a quem sou grato por todo o aprendizado durante o processo de elaboração dessa dissertação.

Ao professor José Roberto Ferreira Savoia pela disposição para dúvidas, recomendações e reflexões desde o primeiro semestre do curso, que foram fundamentais no andamento deste trabalho. Para o professor Marcelo Fantinato por todas as contribuições dadas durante a banca.

À CVM, entidade que tenho como minha casa desde 2009, pelos conhecimentos e apoio financeiro para realizar o projeto.

Aos amigos e colegas da SFI, em especial a Geraldo Godoy, Jorge Casara, Marcelo Araujo, Mario Lemos e Adriano Gomes Filho, que tornaram esse trabalho possível.

Ao corpo docente da FEA por engrandecer meus conhecimentos nas diversas disciplinas cursadas.



“You can never plan the future by the past”

Edmund Burke





## Resumo

Operações de alta frequência ganharam destaque nos últimos anos, tanto no mercado nacional quanto internacional, e têm atraído a atenção de reguladores, pesquisadores e da mídia. Assim, surgiu a necessidade de estudar o mercado de capitais brasileiro no contexto dos dados em alta frequência. Este estudo preocupa-se em analisar os efeitos dos avanços tecnológicos e novas formas de negociação na qualidade do mercado. Tais pontos são caracterizados pelo HFT. Gomber e Haferkorn (2013) explicam que HFT é um subgrupo das negociações com algoritmos. Os investidores HFTs são caracterizados por negociarem com seu próprio capital, manterem posições por espaços curtos de tempo, pelo alto volume de negociação e por atualizarem as ordens com frequência. A revisão da literatura permitiu delinear o termo e identificar as estratégias adotadas, os impactos positivos e negativos na qualidade de mercado, os riscos advindos da prática e medidas adotadas ou propostas para mitigar esses riscos. A contribuição decorrente das negociações em alta frequência foi analisada empiricamente com ênfase na questão da eficiência informacional do mercado nacional. Para isso, foram utilizados dados intradiários do índice Bovespa, com frequências de observação a partir de 1 minuto. Aplicações do teste de sequência para aleatoriedade e teste de razão de variância de Lo e Mackinlay (1988) evidenciaram um aumento na eficiência do mercado ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015, para a frequência de observações de 1 minuto. Foi encontrada relação entre esse ganho em eficiência e o aumento da participação do HFT no mercado. Também foi constatado que o mercado se mostra menos eficiente quando a frequência de observação aumenta e que os ganhos em eficiência são mais acentuados para frequências maiores. Os últimos resultados fortalecem a percepção de que a melhora na eficiência está relacionada diretamente à atuação dos HFTs no mercado, haja vista a característica destes de explorarem ineficiências de preço em frações de segundos. Descreveu-se assim o mercado de capitais nessa era de alta frequência e os impactos do HFT na eficiência de mercado. Tais pontos podem ser colocados como contribuições práticas deste estudo.

**Palavras-chave:** Negociações em alta frequência; Eficiência de mercado; Dados intradiários; Mercado de capitais.



## Abstract

High-frequency trading has gained notoriety in recent years and attracted increasing attention among policymakers, researchers and media. This brought about the need for research of high frequency data on Brazilian capital market. This study aims to investigate the effects of technological advancements and new forms of trading, specially HFT, on market quality. Gomber and Haferkorn (2013, p. 97) define HFT as a subset of algorithmic trading “characterized by short holding periods of trading positions, high trading volume, frequent order updates and proprietary trading”. The literature review made it possible to define the term and identify strategies, positive and negative impacts on market quality, risks and ways to mitigate these risks. The contribution arising from HFT was analyzed empirically with an emphasis on price efficiency in the domestic market, using intraday Bovespa index data in different frequencies. Run tests and Lo and Mackinlay (1988) variance ratio tests showed increasing efficiency over the period, between 2007 and 2015, for observations in 1 minute frequency. Relationship between this gain in price efficiency and the growth of HFT market share was found. It was found that the market is less efficient when higher frequencies are analyzed, and that the efficiency gains are more pronounced for higher frequencies. The last results strengthen the perception that the efficiency gains are directly related to high-frequency trading, given its characteristic of exploring price inefficiencies that last fractions of seconds. The capital market in this high frequency era and the impacts of HFT on market efficiency were described in this study.

**Keywords:** High-frequency trading; Market Efficiency; Intraday data; Capital markets



## Lista de Quadros

Quadro 1 – Linha do tempo das inovações tecnológicas no mercado de capitais brasileiro....	50
Quadro 2 – Estratégias adotadas por HFT .....	57
Quadro 3 – Estratégias manipulativas adotadas por HFT .....	58
Quadro 4 - Medidas de regulação e controle de risco nos mercados financeiros.....	71
Quadro 5 - Protocolo de revisão sistemática da literatura em HFT .....	91
Quadro 6 – Plano de análise de dados .....	97
Quadro 7 – Resultados da análise quantitativa.....	124



## Lista de Figuras

Figura 1 – Participação e Receitas do HFT nos Estados Unidos e Europa .....	24
Figura 2 – Linha do tempo de eventos no mercado norte-americano .....	47
Figura 3 – Participação e Receitas do HFT .....	49
Figura 4 - HFT .....	67
Figura 5 – Iniciativas Regulatórias .....	70





## Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Investidores de Alta Frequência no Brasil – Participação no volume negociado total .....	24
Gráfico 2 – Participação de negócios realizados com uso de Co-location no segmento Bovespa .....	55
Gráfico 3 – Investidores de Alta Frequência – Participação no volume negociado total.....	56
Gráfico 4 – Média da razão de variância (10 segundos/1 segundo) de ações listadas na NYSE e NASDAQ no período entre 2006 e 2011 .....	83
Gráfico 5 – Quantidade de Negócios por mês .....	100
Gráfico 6 – Volume total negociado por mês (em milhares de R\$) .....	101
Gráfico 7 – Volume por negócio (em R\$) .....	101
Gráfico 8 – Número de negócios mensal – Primeiro Quintil .....	103
Gráfico 9 – Número de negócios mensal – Segundo Quintil .....	103
Gráfico 10 – Número de negócios mensal – Terceiro Quintil.....	104
Gráfico 11 – Número de negócios mensal – Quarto Quintil .....	104
Gráfico 12 – Número de negócios mensal – Quinto Quintil .....	104
Gráfico 13 – Volume por negócio (em reais) .....	105
Gráfico 14 - Resultados dos testes das sequências para aleatoriedade (valor de z) .....	107
Gráfico 15 - Estatísticas do teste $z^*(2)$ da razão de variância .....	111
Gráfico 16 - Estatísticas do teste $z^*(4)$ da razão de variância .....	111
Gráfico 17 - Estatísticas do teste $z^*(8)$ da razão de variância .....	112
Gráfico 18 - Estatísticas do teste $z^*(16)$ da razão de variância .....	112
Gráfico 19 – Valores $z^*(q)$ mensais (1 minuto) .....	113
Gráfico 20 – Valores $VR(q)$ mensais (1 minuto) .....	114
Gráfico 21 – Gráficos de Dispersão do número de negócios versus razão de variância padronizada.....	117
Gráfico 22 – Volatilidade mensal para retornos em frequência de 1 minuto .....	120
Gráfico 23 – $VR(2)$ anual para diferentes frequências .....	122
Gráfico 24 – $VR(4)$ anual para diferentes frequências .....	122
Gráfico 25 – $VR(8)$ anual para diferentes frequências .....	123
Gráfico 26 – $VR(16)$ anual para diferentes frequências .....	123



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Correlações .....	102
Tabela 2 - Resultados dos testes das sequências para aleatoriedade .....	107
Tabela 3 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,1$ ) .....	109
Tabela 4 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,05$ ) .....	109
Tabela 5 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,01$ ) .....	109
Tabela 6 – Estimativas do Modelo 1 para diferentes valores de q .....	115
Tabela 7 – Estimativas do Modelo 2 para diferentes valores de q .....	116
Tabela 8 – Estimativas do Modelo 3 para diferentes valores de q .....	118
Tabela 9 – Estimativas do Modelo 4 para diferentes valores de q .....	120
Tabela 10 – Razão de Variância para diferentes frequências .....	121



## Lista de Siglas

AT	<i>Algorithmic Trading/Trader</i>
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
Bovespa	Bolsa de Valores de São Paulo
CATS	Computer Assisted Trading System
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
DMA	<i>Direct Market Access</i> ou Acesso Direto ao Mercado
Febraban	Federação Brasileira de Bancos
G20	Grupo dos 20
GTS	Global Trading System
HFT	<i>High-Frequency Trading/Trader</i>
HME	Hipótese dos Mercados Eficientes
IOSCO	International Organization of Securities Commissions
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
NYSE	New York Stock Exchange
PIB	Produto Interno Bruto
TI	Tecnologia da Informação
U.S. SEC	U.S. Securities and Exchange Commission
VR	Razão de variância ( <i>variance ratio</i> )



## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>23</b>
1.1	Problema de pesquisa .....	26
1.2	Objetivo geral e específicos .....	27
1.3	Justificativas do estudo e contribuições .....	28
1.4	Caracterização dos propósitos da pesquisa .....	30
1.5	Estrutura do trabalho .....	31
<b>2</b>	<b>Referencial teórico .....</b>	<b>33</b>
2.1	Globalização financeira.....	33
2.2	Mercados secundários .....	38
2.3	Inovação financeira, tecnológica e HFT .....	43
2.3.1	Desenvolvimento do mercado de capitais brasileiro .....	49
2.3.2	Estratégias Adotadas por HFTs .....	57
2.4	Revisão sistemática da literatura sobre HFT.....	61
2.5	Regulação de mercados de capitais.....	68
2.6	Hipótese dos mercados eficientes .....	71
2.6.1	Teoria da arbitragem.....	77
2.6.2	Caminho aleatório (random walk).....	78
2.6.3	Estudos sobre eficiência de mercado com dados intradiários.....	79
<b>3</b>	<b>Método de pesquisa.....</b>	<b>87</b>
3.1	Contextos metodológicos da pesquisa.....	87
3.2	Hipóteses formuladas .....	89
3.3	Coleta dos dados.....	90
3.4	Análise dos dados.....	92
3.4.1	Testes de rumo aleatório (Random Walk).....	92
<b>4</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>99</b>

4.1	Análise do número de transações e volume negociado .....	99
4.2	Análise da eficiência informacional para dados em alta frequência.....	105
4.2.1	Teste das sequências para aleatoriedade .....	106
4.2.2	Teste de razão de variância .....	108
4.2.3	Análise das propriedades das séries de autocorrelações .....	114
4.3	Análise da eficiência informacional para dados em diferentes frequências de observação .....	120
<b>5</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>125</b>
5.1	Limitações e perspectivas para trabalhos futuros .....	129
	<b>Referências.....</b>	<b>131</b>



## 1 Introdução

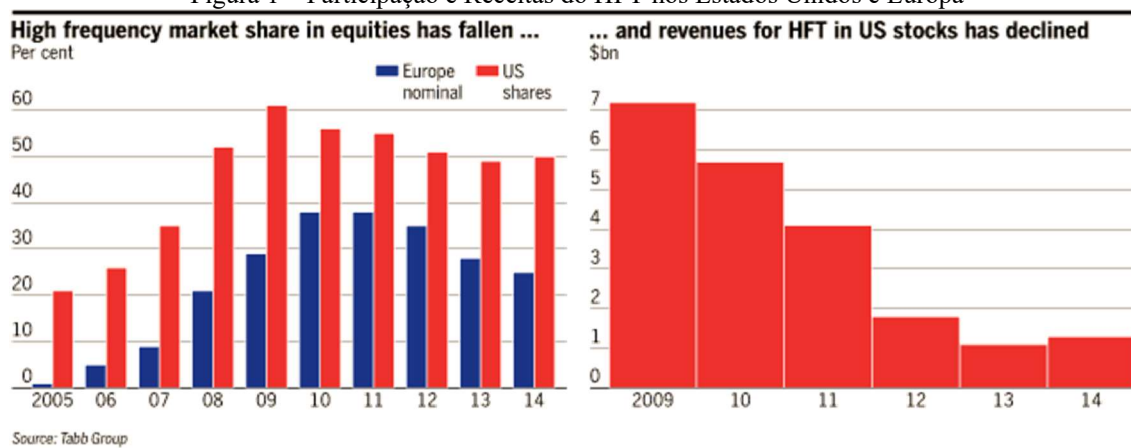
A busca por velocidade e a utilização de novas tecnologias sempre foram constantes nos mercados de capitais e já ocorreram de diversas maneiras. Uma forma bastante emblemática é o caso do investidor Nathan Rothschild, que por meio de mensagens enviadas por pombo correio conseguiu informações acerca da vitória britânica na batalha de Waterloo contra as tropas de Napoleão antes de qualquer um em Londres (inclusive o governo), e, prevendo uma hegemonia britânica na Europa, comprou grandes quantidades de títulos. Posteriormente, o estado da arte no uso de tecnologia nos mercados financeiros foi o telégrafo para receber informações e o telefone para transmitir ordens. O acesso a meios de comunicação com baixa latência gerava uma vantagem na obtenção de informações, o que permitia ganhos financeiros aos investidores (ADLER, 2012; CLIFF; BROWN; TRELEAVEN, 2010).

Nas últimas décadas, os avanços na capacidade computacional e as melhoras nas redes de comunicação suscitaram mudanças dramáticas na forma como os instrumentos financeiros são negociados. Foram criadas plataformas de negociação que operam em alta velocidade e são interconectadas a vários mercados. Essas permitiram a busca de novos métodos para gerar lucro e ocasionaram uma grande elevação nas negociações automatizadas. Entre esses métodos se destaca o *high-frequency trading* (HFT), cujo uso se tornou amplamente difundido nos mercados e que tem recebido bastante atenção da mídia e de entidades reguladoras (LITZENBERGER et al, 2012).

Gomber e Haferkorn (2013) explicam que HFT é um subgrupo das negociações com algoritmos. Os investidores HFTs são caracterizados por negociarem com seu próprio capital, manterem posições por espaços curtos de tempo, pelo alto volume de negociação e por atualizarem as ordens com frequência.

Em reportagem no Financial Times, Massoudi e Stafford (2014) apresentam a participação do HFTs nos mercados europeus e americanos e as receitas que eles obtêm negociando ações americanas, utilizando como fonte estudo elaborado pela consultoria Tabb Group. Nota-se na Figura 1 um crescimento acelerado entre 2005 e 2009 na participação, e após esse ano, uma queda tanto na participação quanto nas receitas.

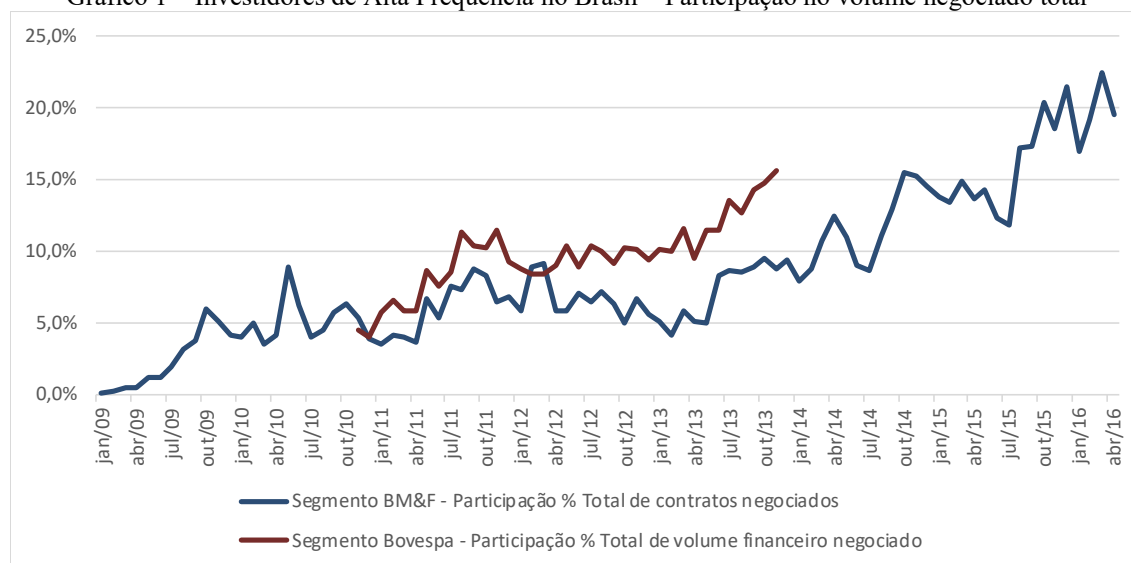
Figura 1 – Participação e Receitas do HFT nos Estados Unidos e Europa



Fonte: Massoudi e Stafford (2014, Sem Página)

No Brasil, apesar de representarem um volume menor do total negociado no mercado, as negociações envolvendo HFT registraram crescimento entre 2009 e 2016. O Gráfico 1 apresenta a participação dos investidores HFT no volume total negociado no segmento BM&F e no segmento Bovespa.

Gráfico 1 – Investidores de Alta Frequência no Brasil – Participação no volume negociado total



Fonte: Elaboração própria com dados de BM&FBovespa (2016a); A partir de dezembro de 2013, as estatísticas de HFTs no segmento Bovespa deixaram de ser divulgadas pela BM&FBovespa.

O uso de tais estratégias de negociação automatizadas criou um universo bastante complexo, com agentes altamente especializados e diversos interagindo entre si. Há de se ressaltar que os sistemas de negociação automatizados são configurados para serem autônomos uma vez ligados. Ou seja, eles operam em alta velocidade, com pouca ou nenhuma intervenção humana no nível de operações individuais (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012). Conforme apontam Cliff, Brown e Treleaven (2010), ao passo que ocorre a adoção de novas tecnologias e estas se tornam comuns nos mercados financeiros, elas alteram

significativamente as condições existentes para os agentes econômicos que neles operam, trazendo consigo necessidades de revisão no ambiente regulatório e institucional.

Para Laudon e Laudon (2014), sistemas de informação levantam novas questões éticas para indivíduos e sociedades, pois criam oportunidades para mudança social intensa, ameaçando as estruturas existentes de distribuição de poder, dinheiro, direitos e obrigações. A introdução de uma nova tecnologia da informação tem um efeito cascata, levantando questões éticas, sociais e políticas. Tais questões devem ser lidadas nos níveis individual, social e político. Os autores ilustram o tema com a seguinte metáfora (LAUDON e LAUDON, 2014, p. 155, tradução nossa):

[...] Imagine a sociedade mais ou menos como uma lagoa calma em um dia de verão, um ecossistema delicado em parcial equilíbrio com indivíduos e com instituições sociais e políticas. Indivíduos sabem como agir nesse lago porque instituições sociais (família, educação, organizações) desenvolveram e aperfeiçoaram regras de comportamento, e estas são sustentadas por leis desenvolvidas no setor político que prescrevem comportamentos e impõem sanções a violações. Agora jogue uma pedra no centro do lago. O que acontece? Ondula, com certeza.

Imagine por sua vez que a força perturbadora é um poderoso choque de nova tecnologia da informação e sistemas atingindo a sociedade mais ou menos em repouso. De repente, atores individuais são confrontados com novas situações frequentemente não cobertas pelas velhas regras. Instituições sociais não conseguem responder de um dia para o outro a essas ondulações – pode levar anos para desenvolver etiqueta, expectativas, responsabilidade social, atitudes politicamente corretas, ou regras aprovadas. Instituições políticas também requerem tempo antes de desenvolver novas leis e com frequência requerem a demonstração de danos reais antes de agir. [...]

Dois incidentes que mostram alguns dos riscos da utilização do HFT são comumente referidos tanto em textos acadêmicos quanto em análises dos reguladores e abordagens da mídia sobre o assunto. Um é o *flash crash* de 6 de maio de 2010 e outro é o prejuízo estimado em 440 milhões de dólares causado por falhas no software da Knight Capital (BARRALES, 2012; SILVER-GREENBERG; POPPER; MERCED, 2012).

Em 2010, o regulador do mercado norte-americano propôs uma consulta pública quanto à estrutura de mercado, com questões envolvendo os seguintes temas: HFT, roteamento de ordens, ligações de dados do mercado e liquidez “escura” (U.S. SEC, 2010). No documento, a entidade considera o HFT como uma das mais significativas mudanças nos ambientes de negociação nos últimos anos. Entre as questões levantadas sobre a estrutura de mercado e a atuação dos HFTs estão:

- Quais métricas são úteis para avaliar o desempenho da estrutura atual do mercado?

- Há métricas úteis para avaliar a qualidade do processo de descoberta de preços nos mercados de ações, como, por exemplo, quão eficiente é a resposta dos preços a novas informações?

- Quais as estratégias mais usadas por HFTs?

- Quais ferramentas tecnológicas e outros componentes da estrutura do mercado são necessárias para implementar cada estratégia?

Ademais, a presidente da U.S. SEC ressaltou que tal tipo de negociação requeria uma minuciosa revisão do arcabouço regulatório ao qual as firmas que atuam no mercado estão submetidas (SHAPIRO, 2010).

Conforme plano de ação proposto pelo G20 com o objetivo de alcançar crescimento econômico forte, sustentável e balanceado, reformar o setor financeiro é um elemento central para possibilitar o desenvolvimento econômico. Para alcançar esse objetivo, o G20 convocou a IOSCO, Associação Internacional das Comissões de Valores, para desenvolver estudos com recomendações para promover a integridade e eficiência dos mercados e mitigar os riscos advindos dos avanços tecnológicos recentes (IOSCO, 2011 e 2012). Nesse contexto, a IOSCO colocou o estudo do tema HFT e a elaboração de propostas regulatórias como um dos pontos principais de sua agenda de atuação. Nos relatórios apresentados pela entidade, são discutidos os impactos do HFT nos mercados financeiros, ferramentas regulatórias, conclusões e recomendações para órgãos reguladores.

## 1.1 Problema de pesquisa

Pontuschka e Perlin (2015, p. 191), em estudo empírico sobre a estratégia de pares e eficiência de mercado na bolsa brasileira, colocam que há atualmente “tendência da literatura financeira de averiguação dos dados financeiros em frequências maiores”. Os pesquisadores salientam que (PONTUSCHKA; PERLIN, 2015, p. 193):

O histórico recente na pesquisa desse assunto [estratégia de pares] demonstra uma tendência em verificar o desempenho da estratégia em dados de alta frequência por conta dos avanços da tecnologia e popularização de estratégias com maiores velocidades de negociação. No Brasil, não foram encontrados registros de pesquisas envolvendo a estratégia de pares em dados de alta frequência. A seguir, será salientada a importância de analisar as estratégias de investimentos à luz das inovações tecnológicas que possibilitam e popularizam as negociações em alta frequência.

Sobre o tema HFT, Pontuschka e Perlin (2015, p. 195) também veem a necessidade de mais pesquisas para esclarecer os impactos desse tipo de operação no mercado:

[...] ainda é cedo para afirmar se o HFT proporciona maiores benefícios ou riscos para os mercados e para a sociedade em geral. O que fica evidente, por meio dessa breve revisão do assunto, é a necessidade de maiores pesquisas na área que ajudem a esclarecer as questões envolvendo o impacto e as consequências desses tipos de operação.

Bank e Baumann (2016) colocam que, no passado recente, a academia tem se interessado cada vez mais no AT<sup>1</sup> e suas implicações para qualidade de mercado. Como foi apontado na introdução, entidades como a IOSCO e a U.S. SEC definiram HFT como um dos temas mais relevantes do mercado.

Aggarwal e Wu (2006), em um estudo sobre manipulação nos mercados de capitais, afirmam que a maior parte dos casos de manipulação acontece em mercados relativamente ineficientes, como mercados de balcão, que são pequenos e apresentam pouca liquidez. O modelo proposto pelos pesquisadores aponta ainda que a presença de manipuladores torna um mercado menos eficiente. Assim, pode-se inferir que uma maior eficiência pode tornar um mercado menos susceptível a casos de manipulação. The Government Office For Science (2012, p. 53, tradução nossa) coloca que uma proposição central de economistas financeiros é que:

[...] preços mais eficientes (que melhor refletem os valores fundamentais) em mercados financeiros contribuem para decisões mais bem informadas de financiamento e investimento e, em última instância, para melhor alocação de recursos na economia ampla e, dessa forma, maior bem-estar. [...]

Nesse contexto, o principal problema aqui estudado foi a questão da introdução de novas tecnologias e formas de negociação no mercado de capitais. Seus efeitos são analisados sob a ótica da eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro. Em suma, esta pesquisa visou responder ao seguinte problema de pesquisa:

Quais os impactos da introdução do HFT no mercado de capitais brasileiro?

## 1.2 Objetivo geral e específicos

Conforme Marconi e Lakatos (2010, p. 140), “Toda pesquisa deve ter um objetivo determinado para saber o que se vai procurar e o que se pretende alcançar”. Este objetivo torna explícito o problema que foi definido para a pesquisa. A partir do delineamento do tema e do problema, coloca-se o seguinte objetivo geral para esta pesquisa:

---

<sup>1</sup> A definição de AT dos pesquisadores dá ênfase às negociações em alta frequência.

Analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro.

Para que o objetivo geral seja alcançado, definiram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Apresentar definições de HFT e as principais estratégias adotadas.
- b) Descrever o ambiente de negociação e como novas tecnologias foram incorporados à estrutura do mercado.
- c) Analisar os impactos avaliados por pesquisas prévias.
- d) Identificar riscos e maneiras para mitigá-los.
- e) Caracterizar o mercado brasileiro quanto ao número de negócios, volume transacionado e volume por negócio, e verificar se há correlação entre essas variáveis e a adoção do HFT e do *co-location*.
- f) Verificar se o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente em sua forma fraca nos últimos anos e se há alguma relação com a presença de HFT.
- g) Verificar se há relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade no mercado brasileiro.
- h) Comparar a eficiência informacional do mercado nacional em diferentes frequências de observação dos dados.

### **1.3 Justificativas do estudo e contribuições**

Ao longo da introdução foram apresentadas as motivações para a escolha do tema e sua relevância. A U.S. SEC e a IOSCO, por exemplo, manifestaram a importância que o HFT adquiriu e de se estudar e entender a prática. Também foi colocada a relevância do estudo da eficiência de mercado e da utilização de dados intradiários nessa tarefa.

Estudos internacionais apontam para alguns impactos positivos do HFT na qualidade de mercado: maior liquidez, custos de transação menores e melhor eficiência. Mas também há estudos que mostram o contrário<sup>2</sup>, além de preocupações quanto a episódios de iliquidez, novas formas de manipulação e ameaças à estabilidade do mercado devido a erros em algoritmos ou excesso de ordens sendo transmitidas (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012). No Brasil, por sua vez, não foram identificados estudos que analisassem os impactos dos

---

<sup>2</sup> Por exemplo, Lee (2013) na questão da eficiência informacional.

avanços informacionais e da ascensão das negociações de alta frequência na eficiência do mercado brasileiro.

Seabra (2014) afirma que a utilização de algoritmos de negociação é um campo que gera muita polêmica no exterior, porém ainda pouco estudado no Brasil. A autora prevê que esta situação deve mudar com o crescimento dos fundos quantitativos no país.

Cappa e Pereira (2010) afirmam que pesquisas com base de dados de alta frequência ainda são raros para ativos brasileiros. Isso porque é custoso obter, selecionar, armazenar e recuperar esses dados. Porém, o desenvolvimento tecnológico tem aumentado a disponibilidade de tal tipo de dado.

Assim, a proposta aqui apresentada, de verificar o impacto das operações de alta frequência, sensíveis ao tempo, na eficiência de mercado, utilizando para isso amostras com frequências intradiárias, mostra-se relevante. Colocam-se algumas contribuições teóricas que resultam do estudo aqui proposto:

- Apresentação do termo HFT em detalhes, além do contexto histórico e institucional do seu surgimento;
- Revisão bibliográfica identificando estratégias, impactos, riscos e medidas para mitigar tais riscos.

Como contribuição prática da pesquisa empírica, destaca-se a apresentação da evolução da eficiência informacional nos últimos anos e a caracterização do mercado nessa era de alta frequência.

A importância deste estudo pode ser apresentada sob os seguintes aspectos para diferentes partes interessadas:

- a) para o ambiente acadêmico, a pesquisa contribuirá para um melhor entendimento dos processos de globalização financeira e inovação tecnológica nos ambientes de negociação e os seus efeitos nos mercados de capitais;
- b) para reguladores, autorreguladores e entidades governamentais que, ao terem o entendimento sobre os mecanismos de negociação e impactos no mercado poderão tomar decisões que possibilitem melhorias nas estruturas de ambientes de negociação como bolsas e balcão. Uma descrição do ambiente e dos impactos pode auxiliar na definição de regulações apropriadas para mitigar riscos e preservar benefícios, e também no sentido de elaborar ferramentas de supervisão e acompanhamento do mercado;
- c) para analistas financeiros, que terão mais uma fonte de pesquisa sobre HFT e eficiência de mercado;

- d) para investidores com estratégias quantitativas, que poderão utilizar a metodologia apresentada para identificar mercados que apresentam mais oportunidades de negócio<sup>3</sup>;
- e) para investidores institucionais e público investidor em geral, que poderão conhecer mais sobre os potenciais riscos e benefícios da prática<sup>4</sup>.

#### 1.4 Caracterização dos propósitos da pesquisa

Em termos genéricos, esta pesquisa preocupa-se em analisar a introdução de novas tecnologias nos mercados de capitais, caracterizadas por meio do HFT. Seus objetivos consistiram em estudar as contribuições, ou riscos, do processo de inovação tecnológica e advento de novas formas de negociação à eficiência informacional do Mercado de capitais brasileiro. O índice Bovespa foi analisado sob o ponto de vista do conceito de eficiência informacional, com avaliação de seu comportamento como um processo caracterizado como caminho aleatório.

Para garantir a viabilidade desta pesquisa, foram utilizados diferentes recursos. Foram utilizados materiais de consulta disponíveis nas bibliotecas da USP e da CVM, bases de dados e sistemas de descoberta de artigos e trabalhos científicos como Scopus, Web of Science e Google Scholar. Os dados para análise empírica foram obtidos junto à BM&FBovespa e também coletados nos sistemas Economatica e Tradezone. A manipulação de dados e análises estatísticas foram facilitadas com o emprego de ferramentas do Stata e Excel.

---

<sup>3</sup> Aldridge (2010) afirma que apesar da demanda por informação sobre o tópico, poucas são as publicações que ajudam investidores a entender e implementar sistemas de negociação de alta frequência. Além disso, profissionais da área são cada vez mais procurados e bem remunerados.

<sup>4</sup> Conforme The Government Office For Science (2012), há em determinados segmentos do público investidor uma grande preocupação quanto à utilização do HFT para práticas abusivas, manipulativas e não equitativas, e também quanto ao aumento da complexidade e dificuldade de identificar tais irregularidades. Tal percepção pode afastar investidores do mercado. Assim, junto com determinadas medidas regulatórias, estudos que apontam tanto os riscos quanto os benefícios podem ajudar a esclarecer e passar uma visão menos enviesada do HFT. The Government Office For Science (2012) também deixa claro que investidores finais estão cientes que há um *trade-off* entre refrear prática abusivas advindas do HFT e desencorajar benefícios da informatização, como a provisão de liquidez.



## 1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, explicados a seguir.

O primeiro apresentou o trabalho, introduz os conceitos associados à introdução de novas tecnologias no mercado de capitais, focando no tema HFT, propõe as questões e objetivos que norteiam o estudo e apresentou a justificativa e relevância do tema.

O segundo traz a revisão da literatura, destacando o referencial teórico e os estudos relevantes para compreensão do tema, elaboração das hipóteses e identificação dos procedimentos estatísticos empregados.

O terceiro capítulo estabelece o método que é empregado na pesquisa e explicita as hipóteses analisadas no decorrer do estudo.

O quarto apresenta os resultados obtidos nos testes efetuados, validando ou rejeitando cada uma das hipóteses formuladas.

O quinto sintetiza os resultados encontrados e faz as considerações finais sobre o tema.



## 2 Referencial teórico

Para entender os diversos conceitos tratados na pesquisa e atingir os objetivos traçados, é necessário apresentar os principais elementos abordados nesse estudo. Isso posto, são tratados assuntos relacionados aos seguintes tópicos e conceitos: globalização e globalização financeira, definição dos mercados secundários e suas funções, desenvolvimento tecnológico e institucional do mercado no Brasil e no mundo, HFT, principais impactos identificados por pesquisas prévias, hipótese dos mercados eficientes e caminho aleatório.

### 2.1 Globalização financeira

O fenômeno do HFT está inserido no contexto da globalização, e, mais especificamente, no movimento de globalização financeira e dos mercados de capitais. Savoia (1996, p. 8 e 9) resume globalização como um fenômeno:

[...] iniciado na década de oitenta, configurando-se como uma etapa posterior à internacionalização da economia, aonde ocorre a integração da produção de bens, serviços e dos fluxos de capital a nível mundial, gerando interdependência entre as organizações e os países.

Da descrição de várias posições no debate sobre o tema globalização, Hirst, Thompson e Bromley (2009) sugerem quatro sentidos separados, ainda que conectados, que o termo globalização econômica é comumente utilizado na literatura acadêmica.

O primeiro está concentrado nos padrões de comércio, investimento e migração e se refere ao crescimento da interdependência e integração via movimento ou fluxo de recursos econômicos e atividades entre fronteiras.

O segundo uso se refere ao aumento da sensibilidade dos movimentos de variáveis econômicas em um lugar qualquer em relação às de outro lugar. Os movimentos nos preços de produtos, serviços e ativos, taxa de variação de índices de produção e emprego, e fatores como preferências e tecnologias podem se tornar cada vez mais alinhadas entre espaços econômicos territorialmente distintos.

O terceiro uso diz respeito ao crescimento de processos sem uma locação territorial fixa ou com pouca preocupação quanto à distância. Aqui o foco está na emergência das tecnologias de informação e comunicação, particularmente a *world wide web* e *internet*.

O quarto uso se refere ao crescimento da interdependência e integração via adoção ou harmonização de normas em comum.

Para Larson (2011), o termo globalização descreve o mundo que está encolhendo na velocidade das mudanças tecnológicas e inovação humana. Para este, “Globalização não é uma força monolítica, mas um conjunto em evolução de consequências – algumas boas, algumas ruins e algumas não intencionais. É a nova realidade” (LARSON, 2011, sem página, tradução nossa).

Em relação às mudanças ocorridas nas finanças globais, Krugman e Obstfeld (1999, p. 657) ilustram o tema com a seguinte narrativa: “Se um financista chamado Rip van Winkle tivesse ido dormir no início dos anos 60 e acordado três décadas mais tarde, ele ficaria chocado com as mudanças na natureza e na escala da atividade financeira internacional”.

Enquanto nos anos 60 a maioria dos negócios bancários era puramente doméstica, envolvendo moeda e clientes locais, duas décadas mais tarde vários bancos obtinham boa parte de seus lucros de atividades internacionais. O financista poderia encontrar filiais do Citibank em São Paulo e do banco inglês National Westminster Bank em Nova Iorque. Além disso, descobriria que “no início dos anos 80 havia se tornado rotina uma filial de um banco norte-americano localizada em Londres aceitar um depósito em ienes japoneses de uma empresa suíça, ou emprestar francos suíços para uma indústria holandesa” (KRUGMAN; OBSTFELD, 1999, p. 657).

Globalização financeira, segundo definido por Gonçalves et al. (1998), é um fenômeno da economia mundial que se caracteriza pela interação de três processos distintos atuando simultaneamente: expansão extraordinária dos fluxos financeiros internacionais, acirramento da concorrência nos mercados internacionais de capital e maior integração entre os sistemas financeiros nacionais.

O primeiro processo refere-se à aceleração dos fluxos financeiros internacionais em suas diferentes formas. Segundo Gonçalves et al. (1998, p. 149), “houve uma extraordinária expansão dos fluxos de capitais em todos os mercados que compõem o sistema financeiro internacional (títulos, ações, empréstimos, financiamentos, moedas e derivativos)”.

Dados divulgados em estudo do McKinsey Global Institute (2013) mostram essa expansão. O estoque de ativos externos globais cresceu de 11 trilhões de dólares em 1990, equivalentes a 55% do PIB mundial, para 101 trilhões de dólares em 2011, valor que representa 145% do PIB mundial no ano.

O segundo processo descrito por Gonçalves et al. (1998) refere-se ao acirramento da concorrência internacional, que se manifesta pela crescente disputa por transações financeiras internacionais entre bancos e instituições financeiras não bancárias. Além disso, os autores notam que grupos transnacionais, por meio de instituições financeiras próprias, passaram a atuar

mais diretamente no sistema financeiro internacional e investidores institucionais, como fundos de pensão, fundos mútuos e seguradoras, passaram a diversificar seus portfólios em bases geográficas. Por fim, observa-se o avanço de mercados emergentes, que passaram a ter centros financeiros importantes para aplicação ou intermediação de recursos. Gonçalves et al. (1998) destacam São Paulo e Cidade do México como importantes centros financeiros na América Latina.

O terceiro processo descrito por Gonçalves et al. (1998) trata-se da maior integração dos sistemas financeiros nacionais, com proporção crescente de ativos financeiros emitidos por residentes na carteira de não residentes, e vice-versa. Como indicadores desse fenômeno os autores apontam o diferencial entre as taxas de crescimento das transações financeiras internacionais e nacionais e o crescimento da participação de títulos estrangeiros na carteira dos fundos de pensão norte-americanos, britânicos e japoneses.

No contexto da globalização financeira, Krugman e Obstfeld (1999) definem o mercado de capitais internacional como o mercado onde residentes de países diversos comercializam ativos. Para os autores, tal mercado “não é um mercado único; ele é um grupo de mercados fortemente interconectados nos quais ocorrem trocas de ativos com alguma dimensão internacional” (KRUGMAN; OBSTFELD, 1999, p. 657). Suas atividades ocorrem em uma rede de centros financeiros mundiais ligados por sistemas de comunicação sofisticados.

Gonçalves et al. (1998) agrupam os fatores determinantes que levaram à globalização financeira em seis conjuntos. O primeiro é de ordem ideológica. Trata-se da ascensão das ideias liberais nos anos 80, que levaram a uma onda de desregulamentação do sistema financeiro.

O segundo é de ordem institucional e está relacionado à dinâmica do sistema financeiro internacional. Segundo Gonçalves et al. (1998, p. 151):

[...] A criação do mercado de euromonedas nos anos 50 e seu desenvolvimento nas décadas de 60 e 70 foram fundamentais para a configuração do atual sistema financeiro internacional. Ademais, a instabilidade gerada pela ruptura do sistema de Bretton Woods, em um primeiro momento, e pelas políticas monetária e cambial dos países desenvolvidos a partir de então, provocaram um processo de inovação e adaptação institucional no sistema financeiro internacional. Nesse sentido, pode-se mencionar o desenvolvimento de novos instrumentos financeiros de proteção frente a riscos e incertezas. O exemplo de maior destaque é o desenvolvimento do mercado de derivativos de moedas e taxas de juros.

O terceiro conjunto de determinantes foi o desenvolvimento tecnológico, com a revolução da informática e das telecomunicações, que permitiu a redução dos custos operacionais e de transação em escala global. “Assim, as operações financeiras tornaram-se

significativamente mais baratas, ao mesmo tempo em que se reduziram os custos de coleta de informações e de monitoramento dos mercados de capitais espalhados pelo mundo” (GONÇALVES et al., 1998, p. 151). Como afirma Levitt (1983), a tecnologia é uma força poderosa que move o mundo em direção a um padrão comum.

Carvalho (2007) coloca que os progressos advindos da tecnologia da informação estabeleceram uma nova estrutura para o mundo financeiro. Segundo o autor (CARVALHO, 2007, p. 10):

[...] As plataformas cujo desenvolvimento foi possível, para armazenamento e remessa de dados instantaneamente ao redor do mundo, criaram condições, notadamente no sistema financeiro internacional, para livre circulação da informação, do capital e dos negócios.

O quarto consiste nas mudanças das estratégias das empresas transnacionais e dos investidores institucionais operando em escala global. Haja vista fatores como instabilidade das taxas de juros, de câmbio e limites de expansão dos mercados de capitais nos países desenvolvidos, investidores institucionais foram obrigados a diversificar a alocação de seus recursos no sentido de uma maior dispersão geográfica, inclusive penetrando em mercados de capitais de países em desenvolvimento.

Nesse sentido, Krugman e Obstfeld (1999) lembram que o comércio internacional de ativos permite a redução do risco do rendimento sobre a riqueza e, dessa forma, pode favorecer ambas as partes envolvidas na negociação. O comércio de ativos permite “que ambas as partes diversifiquem suas carteiras – dividindo sua riqueza entre um espectro maior de ativos e, portanto, a quantidade de dinheiro associada a cada ativo individualmente” (KRUGMAN; OBSTFELD, 1999, p. 660).

Como coloca James Tobin (*apud* Krugman e Obstfeld, 1999, p. 660), economista da Yale University e precursor da teoria da escolha da carteira com aversão ao risco, “não ponha todos os ovos em uma única cesta”. Complementam Krugman e Obstfeld (1999) que quando uma economia está aberta para o mercado de capitais internacionais, o investidor pode diversificar sua carteira e reduzir o risco de sua riqueza colocando parte de seus recursos em outros países.

O quinto conjunto de fatores resulta das políticas econômicas adotadas pelos países desenvolvidos, em especial das taxas de juros. Segundo Gonçalves et al. (1998, p. 152), o aumento significativo das taxas de juros reais nos países desenvolvidos a partir do final dos anos 70 serviu como “incentivo para investimentos financeiros nos mercados de capitais dos países desenvolvidos, inclusive por parte de não-residentes nesses países, assim como

investimentos cruzados entre países desenvolvidos para se beneficiar de diferenciais de taxas de juros”.

Por fim, o sexto conjunto de fatores é de ordem sistêmica. Para Gonçalves et al. (1998, p. 152), globalização financeira pode ser vista “como parte integrante de um movimento de acumulação em escala global caracterizado pelas dificuldades de expansão da esfera produtiva real”. Esse tema envolve duas questões centrais:

[...] A primeira envolve o menor potencial de crescimento dos mercados domésticos nos países desenvolvidos, ricos em capital. Como resultado, há um deslocamento de recursos da esfera produtiva-real para a esfera financeira e, portanto, um efeito de expansão dos mercados de capitais doméstico e internacional. [...]

A segunda questão trata dos processos de reestruturação produtiva dos últimos dez ou quinze anos, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, que significaram uma mudança das estruturas produtivas dos países, inclusive com base em fortes movimentos de fusão e aquisição de empresas, que envolvem fluxos financeiros internacionais.

Paul Krugman, em seu livro *The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008*, descreve como a globalização dos mercados financeiros fez com que os eventos ocorridos no mercado imobiliário norte-americano e a crise dos créditos *subprime* afetassem o resto do mundo de uma maneira sem precedentes (KRUGMAN, 2009). De acordo com o economista, junto com o crescimento do *shadow banking*, houve uma transformação no caráter do sistema financeiro nos últimos quinze anos, a chamada globalização financeira, com investidores em cada país mantendo grandes investimentos em outros países. Em 1996, véspera da crise asiática, os Estados Unidos possuíam ativos e obrigações em outros países iguais a 52% e 57% de seu produto interno bruto, respectivamente. Em 2007, esses números haviam subido para 128% e 145%, respectivamente.

Tal mudança visava reduzir riscos. Com uma participação significativa de suas riquezas fora do país, os investidores norte-americanos estariam menos expostos a crises nos Estados Unidos. Da mesma maneira, investidores estrangeiros mantendo grande parte de sua riqueza nos Estados Unidos estariam menos expostos a crises em suas respectivas regiões. Entretanto, grande parcela desses investimentos foi realizada por instituições financeiras altamente alavancadas, que faziam vários tipos de apostas transfronteiriças de risco. Tais investimentos desempenharam o papel de “mecanismo de transmissão”, e fizeram com que a crise iniciada com o mercado imobiliário norte-americano se transformasse em uma crise global (KRUGMAN, 2009).

No caso do Brasil e de outros mercados emergentes, Krugman (2009) acrescenta aos fatores expostos outro elemento que trouxe vulnerabilidade: o *carry trade*, operação que consiste em tomar dinheiro emprestado em países com taxas de juros baixas e aplicá-lo em países com taxas mais altas. “Era uma operação altamente lucrativa enquanto nada desse errado; mas eventualmente algo deu errado” (KRUGMAN, 2009, p. 178, tradução nossa).

Para Vervloet e Garcia (2010), a exposição a derivativos financeiros, em especial derivativos cambiais, foi um canal de irradiação da crise mundial no Brasil. Os autores descrevem e apresentam evidências de que empresas utilizaram derivativos como instrumentos de especulação<sup>5</sup>. Firms nacionais exportadoras passaram do ponto de *hedge* de sua exposição natural longa em divisas estrangeiras para exposição vendida em moeda estrangeira. Com a depreciação acentuada do real frente ao dólar no bojo da crise internacional, de 42% entre 1º de setembro e 31 de dezembro de 2008, essas firmas, entre as quais se destacam a Sadia e a Aracruz, sofreram perdas gigantescas.

## 2.2 Mercados secundários

Conforme colocam Eizirik et al. (2008), há dois segmentos no mercado de capitais, o primário e o secundário. “No primário ocorrem as emissões públicas de novos valores mobiliários, mediante a mobilização da poupança popular” (EIZIRIK et al., 2008, p. 10). Ou seja, o mercado primário é onde se viabiliza a captação de recursos, que são canalizados diretamente para as entidades emissoras utilizarem em seus projetos de investimentos. Os investidores, por sua vez, passam a participar dos resultados da companhia.

Já no mercado secundário, explicam Eizirik et al. (2008, p. 10, grifo nosso):

[...] não há o ingresso de recursos para as companhias emissoras, inexistindo a emissão de novos títulos. Na realidade, as operações de mercado secundário são realizadas entre os poupadores, sem qualquer vinculação com a companhia que emitiu os valores mobiliários.

A função essencial do mercado secundário é a de conferir liquidez aos valores mobiliários, permitindo que os seus adquirentes possam vendê-los rapidamente. Sem a existência de um mercado secundário ativo, ficariam

<sup>5</sup> Ainda segundo os autores, grande parte dessas empresas comprou, com algumas pequenas diferenças entre cada uma, um produto financeiro denominado *Target Accrual Range Note* (TARN) ou *Target Accrual Range Forward* (TARF). Tal produto é explicado por Vervloet e Garcia (2010, p. 72) da seguinte forma: “O produto funcionava, basicamente, da seguinte forma. As partes envolvidas acordavam uma taxa de câmbio pela qual as empresas venderiam os seus dólares a cada mês (strike). Caso o câmbio se apreciasse de forma a ficar abaixo do strike combinado, a empresa poderia vender uma quantidade de dólares para a instituição financeira por esse valor. Caso o câmbio se depreciasse, indo parar acima do strike, a empresa teria que vender uma quantidade de 2a de dólares à instituição financeira, à taxa de câmbio combinada (strike). Ou seja, em um cenário desfavorável (real depreciado) a empresa se veria obrigada a vender, a preço baixo, quantidade de dólares duas vezes maior do que compraria no cenário favorável, produzindo potenciais grandes perdas”.



muito prejudicadas as operações de captação de recursos no mercado primário, uma vez que os poupadores teriam dificuldades para alienar os valores mobiliários por eles adquiridos.

Para as companhias emissoras é importante que suas ações tenham liquidez no mercado secundário, pois lhes será mais fácil colocarem no mercado novos títulos, uma vez que os investidores normalmente preferem adquirir valores mobiliários que possam mais rapidamente alienar. A cotação das ações de uma companhia no mercado secundário, isto é, o valor pelo qual são negociadas, constitui um parâmetro fundamental para que se calcule o preço de emissão das novas ações no mercado primário. [...] Com efeito, quando as ações apresentam índices razoáveis de liquidez no mercado secundário, o critério mais importante para a fixação do preço de emissão de novas ações será o da sua cotação no mercado.

Nessa linha, Yazbek (2009) coloca que os mercados secundários provêm informações para os agentes econômicos e liquidez para os detentores de ativos. Assim, afirma o autor, os custos de aquisição de informações e de realização das operações (típicos custos de transação) são reduzidos. Yazbek (2009) descreve dois modelos gerais de estrutura de mercado: de bolsa e de balcão. Eizirik et al. (2008) colocam também os mercados de futuros e mercadorias<sup>6</sup>, e esclarecem que nada impede os investidores de comprarem e venderem diretamente os valores mobiliários fora de tais mercados secundários, sem a participação de intermediários financeiros, de forma privada.

Segundo Eizirik et al. (2008, p. 11):

As bolsas constituem entidades que permitem a centralização das operações no mercado secundário, dotadas de sistemas de pregão “viva voz” (cada vez menos utilizados) ou eletrônico, mediante os quais se assegura a continuidade das operações e a divulgação instantânea dos preços praticados. Ademais, provêm todas as facilidades para a custódia e transferência dos valores mobiliários nelas listados. Atuam, ainda, como corporações auto-reguladoras, na medida em que regulam a conduta das instituições que nelas operam, zelando para que sejam preservados elevados padrões éticos nas negociações.

Para Yazbek (2009), a definição de bolsa é problemática e vem sendo dificultada por transformações no mercado financeiro ocorridas ao redor do mundo. O advento de mecanismos eletrônicos de negociação, por exemplo, tanto em operações de bolsa como de balcão, nubla algumas das distinções entre os dois tipos de mercado. Destaca-se também a proliferação de novas estruturas de negociação. O autor alerta que mesmo na regulação vigente é reconhecida a complexidade dos arranjos institucionais existentes, tratando bolsas e mercados de balcão

---

<sup>6</sup> Yazbek (2009) sugere um tratamento genérico às estruturas bursáteis, o que permite uma análise conjunta das bolsas de mercadorias e futuros, na qual se negociam commodities e instrumentos derivativos, e das bolsas de valores onde se negociam valores mobiliários mais tradicionais, em especial ações.

como “mercados organizados”<sup>7</sup>. Numa definição simples, Yazbek (2009, p. 130) resume que bolsa é “o lugar em que se encontram possíveis compradores e vendedores de certos bens, para a realização das correspondentes negociações, conforme regras e procedimentos específicos”, colocando que “As bolsas são os mais famosos mecanismos destinados a prover mercados secundários” (YAZBEK, 2009, p. 130).

Nessa discussão, Lee (1998) afirma que a existência e a natureza das bolsas não costumava ser um ponto de controvérsia, elas eram facilmente identificadas e caracterizadas. Porém, novas tecnologias deram origem a novos tipos de instituições, e as questões “o que é uma bolsa?” e “o que não é uma bolsa?” não têm respostas muito claras. Assim, o autor trata de definir tais tipos de instituição em seu livro. De forma geral, coloca que as bolsas são provedoras de sistemas de negociação, e que “um sistema de negociação pode ser pensado como um fórum para executar uma operação” (LEE, 1998, p.1, tradução nossa). Em sua definição, um sistema de negociação é um mecanismo que executa três funções: disseminação de informações<sup>8</sup>, roteamento de ordens<sup>9</sup> e execução de ordens<sup>10</sup>. Além disso, as bolsas possuem um conjunto de regras que governam tais atividades.

Yazbek (2009) coloca que o principal aspecto que diferencia os mercados de bolsa e de balcão é o mecanismo de formação de preços, que permite, ou ao menos tenta permitir, a recriação de um mercado eficiente<sup>11</sup> nos sistemas de bolsa. Tal formação, explica o autor, é obtida (YAZBEK, 2009, p. 132):

- (i) a partir da realização de operações por meio de intermediários especializados, sempre presentes aos sistemas de negociação e, assim, capazes de aproveitar as oportunidades;
- (ii) da obrigatoriedade de fechamento de operações “contra” os melhores preços praticados naqueles momentos, de forma que os vendedores sempre vendam para o comprador que ofereça o preço mais alto e os compradores sempre comprem de quem ofereça o preço mais baixo (atuando como agente maximizadores);
- (iii) da obrigatoriedade de fechamento de operações “contra o mercado”, e não contra outro participante em especial ou a partir de ajustes prévios; e

<sup>7</sup> A Instrução CVM nº 461/2007 traz em seu Art. 3º a seguinte definição para mercados organizados:

“Art. 3º Considera-se mercado organizado de valores mobiliários o espaço físico ou o sistema eletrônico, destinado à negociação ou ao registro de operações com valores mobiliários por um conjunto determinado de pessoas autorizadas a operar, que atuam por conta própria ou de terceiros.

§1º Os mercados organizados de valores mobiliários são as bolsas de valores, de mercadorias e de futuros, e os mercados de balcão organizado” (CVM, 2007).

Ressalta-se que em dispositivos posteriores da instrução são definidas características e regras específicas para cada tipo de instituição.

<sup>8</sup> Refere-se ao ato de transmitir dados sobre ofertas existentes e operações efetuadas para os participantes do mercado.

<sup>9</sup> Procedimentos utilizados para levar as ordens de seus originadores para os mecanismos de execução.

<sup>10</sup> Processo pelo qual as ordens enviadas são transformadas em negócios.

<sup>11</sup> Conforme preconizado no modelo neoclássico, modelo este explicado por Yazbek (2009).

(iv) da disponibilidade das informações relevantes para os agentes (ao menos no que tange àquelas informações internamente geradas).

Para Eizirik et al. (2008, p. 94), são duas as funções das bolsas:

[...] a primeira é a de fornecer um local ou sistema adequado à realização de operações com títulos, dotado de todos os meios necessários à pronta realização e visibilidade dos negócios, e que assegure, ademais, continuidade de preços e liquidez aos referidos títulos; a segunda é a de preservar elevados padrões éticos de negociação, estabelecendo normas de comportamento para seus membros e fiscalizando a sua observância.

No segundo sentido, tanto Eizirik et al. (2008) quanto Yazbek (2009) enfatizam a atuação das bolsas como entidades autorreguladoras<sup>12</sup>. Da Rocha (2015, p. 186) explica que<sup>13</sup>:

O poder disciplinar das Bolsas, hoje no Brasil concentrado na BM&FBovespa, pode ser conceituado como a faculdade [...] decorrente da sua capacidade autorregulatória, fulcrada em Lei e atos normativos da CVM e da própria Bolsa –, que a Bolsa possui de investigar, julgar e aplicar sanções aos membros sujeitos à sua esfera autorregulatória, bem como a capacidade de elaborar normas tendo em vista essa finalidade.

Quanto aos mercados de balcão, para Yazbek (2009, p. 143):

A rigor, o mercado de balcão [...], em contraposição ao de bolsa, é aquele em que as instituições financeiras e as demais entidades autorizadas a operar fazem-no diretamente entre si, ou diretamente com seus clientes, sem um mecanismo centralizado e compulsório de formação de preços. Assim, se, nos sistemas de bolsa, as operações são “fechadas” com a observância daquelas regras já referidas, nos sistemas de balcão, ou apenas se realiza a operação, sem maiores controles quanto àquela questão, ou meramente se efetua o registro de operações negociadas entre os participantes (registro que, conforme o caso, pode ser pressuposto de validade do negócio).

Yazbek (2009) ressalta que, em alguns casos, mercados de balcão organizado podem se aproximar bastante dos sistemas de bolsa. O autor ainda distingue balcão organizado de não organizado, colocando o primeiro como aquele supervisionado por entidade autorreguladora e autorizado a funcionar pela CVM e o segundo como aquele que não é administrado por nenhuma instituição, ainda que possa haver algum tipo de submissão à regulamentação estatal.

Eizirik et al. (2008, p. 11) listam as características das bolsas e mercados de balcão essenciais ao desenvolvimento regular e ordenado das operações no mercado secundário:

<sup>12</sup> Eizirik et al. (2008) entendem por autorregulação a atividade dos próprios membros do mercado de editarem normas destinadas a regular sua atuação, fiscalizarem o cumprimento de tais normas e imporem penalidades para as irregularidades eventualmente praticadas. Ou seja, os próprios participantes do mercado se autopoliciam no cumprimento de deveres legais e padrões éticos aceitos consensualmente.

<sup>13</sup> O Capítulo IV da Instrução CVM nº 461/2007 determina que as bolsas devem realizar a atividade de autorregulação estabelecendo um departamento, constituindo associação, sociedade controlada, ou submetida a controle comum, de propósito específico, que exerça as funções de fiscalização e supervisão, ou, ainda, contratando terceiro independente para exercer tais funções (CVM, 2007).

- (a) acesso limitado à negociação apenas aos membros habilitados, normalmente sociedades corretoras membros da entidade, procedimento que aumenta a credibilidade do sistema e permite aos intermediários quanto à solvência da contraparte na operação (outra instituição financeira habilitada);
- (b) regras de negociação uniformes – horário de operações, unidades transacionadas, procedimentos de liquidação das operações, dentre outras – reduzindo os custos de transação;
- (c) procedimentos de compensação, diminuindo os riscos de inadimplência;
- (d) resolução de disputas, atuando as bolsas usualmente como árbitros nos conflitos surgidos entre seus membros;
- (e) estabelecimento de uma modalidade de “seguro” contra os prejuízos causados pelos intermediários aos seus clientes, como é o caso do Fundo de Garantia mantido pelas bolsas;
- (f) exigências mínimas para admissão de emissoras de valores mobiliários à negociação;
- (g) fixação dos modelos de contratos negociados em operações a termo, a futuro e com opções;
- (h) elaboração e fiscalização das normas sobre a conduta ética a ser mantida pelos intermediários nas operações, no exercício de seu poder de autorregulação;
- (i) estímulo permanente à adoção e à manutenção, pelas emissoras listadas, de níveis adequados de “governança corporativa”, contribuindo, assim, tanto para a sua mais eficiente gestão, como para a melhor tutela dos direitos dos investidores.

Definidos os mercados secundários e explicadas suas funções, pode-se afirmar que qualidade de um mercado está relacionada à capacidade e eficácia em cumprir suas funções, a saber, gerar liquidez para os investidores e informações para os agentes econômicos. Ou, como colocam Litzenger et al (2012), em sua essência a proposta de um mercado é facilitar a compra e venda. Assim, a qualidade de um mercado pode ser entendida como até que grau esse objetivo é alcançado sem impor custos adicionais ou fricções para seus participantes.

Madhavan (2000), por sua vez, afirma que comparações entre mercados são complicadas pelo fato de as estruturas de mercado no mundo real serem mais complexas do que os modelos sugerem. Além disso, coloca que há sérios problemas empíricos quanto à definição e modos de medir qualidade de mercado. Como afirmam Krishnamurti, Sequeira e Fangjian (2003, p. 1866, tradução nossa):

Uma quantificação unidimensional de qualidade de mercado está ausente na literatura existente. Pesquisas anteriores focaram em liquidez, eficiência informacional e características de volatilidade dos mercados como critérios para comparações de qualidade de mercado. Outra visão de qualidade de mercado é baseada nos custos de transação.

Aitken, Frederick e Ji (2015) colocam eficiência e integridade como os dois pilares para analisar a qualidade de um mercado. O primeiro termo é operacionalizado sob as métricas de custos de transação (*spreads*) e descoberta de preço (relacionado à eficiência informacional). O

segundo termo diz respeito a questões como *insider trading*, manipulação de mercado, relação entre corretores e clientes e outras violações da integridade de mercado. Os autores ainda destacam elementos da estrutura de um mercado que podem impactar em sua qualidade: regulação, tecnologia de negociação e supervisão, infraestrutura, informação, instrumentos e participantes.

Um amplo estudo realizado por um órgão de pesquisa do governo britânico avaliou os impactos do desenvolvimento tecnológico nos mercados de capitais e as perspectivas para o período compreendido entre 2012 e 2022, com foco nas negociações com algoritmos e em alta frequência. O estudo identifica três indicadores chave de qualidade de mercado: liquidez<sup>14</sup>, descoberta/eficiência de preços<sup>15</sup> e custos de transação<sup>16</sup>. No estudo também é citada a volatilidade<sup>17</sup> como fator analisado para avaliar os impactos de tais tecnologias (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012).

Definidos mercados secundários, suas funções e indicadores de qualidade, o próximo tópico aborda a utilização de novas tecnologias em tais mercados e o advento do HFT. Posteriormente, os impactos do HFT nos principais indicadores de qualidade de mercado aqui identificados são analisados por meio da revisão sistemática da literatura proposta no Quadro 5.

### 2.3 Inovação financeira, tecnológica e HFT

Visa-se nessa seção atender aos objetivos “a” e “b”, assim definidos:

- a) Apresentar definições de HFT e as principais estratégias adotadas
- b) Descrever o ambiente de negociação e como novas tecnologias foram incorporados à estrutura do mercado

Para Yazbek (2009, p. 57), “inovação financeira consiste na criação de instrumentos ou estratégias, alterando padrões vigentes, apresentando soluções e, conseqüentemente, gerando resultados distintos daqueles que se esperaria originalmente”. Ainda de acordo com o autor, a

<sup>14</sup> Liquidez refere-se à condição de poder comprar ou vender um ativo sem afetar significativamente seu preço. Ou seja, quanto mais líquido um ativo no mercado, menor o impacto em seu preço de compras ou vendas.

<sup>15</sup> Descoberta de preços é o processo de mercado que faz com que novas informações sejam refletidas no preço dos ativos. Eficiência de preço é quando o preço de um ativo reflete o verdadeiro valor subjacente do mesmo.

<sup>16</sup> Custos de transação são os custos que um investidor, seja este classificado como HFT ou investidor tradicional, incorre para comprar ou vender um ativo.

<sup>17</sup> Volatilidade consiste na variabilidade do preço de um ativo ao longo do tempo, geralmente medida em termos percentuais.

frequência e a intensidade dessas inovações dependem do peso das atividades financeiras, da configuração do mercado, do papel dos intermediários e do arcabouço institucional existente.

Um dos primeiros esforços para conceituar e criar uma taxonomia para as inovações financeiras veio de um grupo de trabalho constituído em 1985 pelo Bank of International Settlements para analisar determinadas práticas bancárias (BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 1986; YAZBEK, 2009). Segundo o relatório da organização, uma classificação para inovações financeiras pode ser baseada na função de intermediação financeira que ela desempenha. Destacam-se três funções desempenhadas pelos mercados financeiros<sup>18</sup>. Primeiramente, um setor financeiro fornece um mecanismo para agentes econômicos transferirem riscos entre eles mesmos. Em segundo lugar, um setor financeiro fornece liquidez para a economia. Finalmente, um setor financeiro fornece reivindicações para as receitas de agentes econômicos. Essas reivindicações podem ser de dois tipos: obrigações de dívidas e ações de capital.

Essas distinções funcionais permitem classificar as inovações financeiras nas seguintes categorias, de acordo com seus objetivos: (i) transferência de riscos (*risk-transferring innovations*); (ii) melhora das condições de liquidez e de negociabilidade de instrumentos ou criação de instrumentos com maior liquidez (*liquidity-enhancing innovations*); (iii) aumento do acesso dos agentes econômicos a fontes de crédito (*credit-generating innovations* ou *debt-generating innovations*); e (iv) aumento do acesso dos agentes a mecanismos de participação acionária (*equity-generating innovations*) (BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 1986; YAZBEK, 2009).

Ao lado dessas categorias, a literatura aponta outras, que não raro se sobrepõem às identificadas anteriormente (YAZBEK, 2009). Allen e Gale (1994) *apud* Yazbek (2009) listam como moventes do processo de inovação a busca por mercados mais “completos” que permitam contratações antes impossíveis, o desejo de alterar os preços dos ativos e de fugir da atividade regulatória ou da tributação e a tentativa de aumentar liquidez ou reduzir os custos de transação e de *agency*.

HFT faz parte desse processo de inovação financeira, que aliado ao avanço das tecnologias de informação e comunicação, mudou a configuração das relações nos mercados de capitais e o funcionamento dos ambientes de negociação. A seguir, o termo HFT é definido

---

<sup>18</sup> Yazbek (2009, p. 125), em sua conceituação de mercados de financeiros e de capitais, vê dois fins principais para estes: “o mercado financeiro e de capitais é aquele em que são negociados instrumentos financeiros ou em que se estabelecem relações de conteúdo financeiro visando, fundamentalmente mas não exclusivamente, dois fins nem sempre concomitantes: a repartição de riscos e o financiamento das atividades econômicas”.

e posteriormente é apresentado o contexto histórico e institucional que permitiu seu surgimento e crescimento.

Conforme colocam Gomber et al. (2011), para avaliar HFT, sua relevância e impactos no mercado é necessária a definição e delineamento do termo. Nesse sentido, os autores fizeram uma avaliação de definições propostas pela academia e por reguladores para chegar em uma definição que englobasse a maior parte das percepções existentes.

HFT pode ser classificado como um tipo de *algorithmic trading* (AT)<sup>19</sup> (BROGAARD, 2010; GOMBER et al., 2011). AT é definido por Hendershott e Riordan (2009) como o uso de algoritmos computacionais para automaticamente tomar decisões de negociações, enviar ordens e gerir essas ordens após o envio.

De sua revisão da literatura, Gomber et al. (2011) listam as características geralmente atribuídas ao HFT<sup>20</sup>:

- a) decisões de negociação pré-concebidas;
- b) utilizado por investidores profissionais;
- c) acompanhamento de dados do mercado em tempo real;
- d) submissão de ordens automatizada;
- e) gestão de ordens automatizada;
- f) sem intervenção humana;
- g) uso de acesso direto ao mercado (*direct market access* – DMA)
- h) número muito grande de ordens;
- i) cancelamento rápido de ordens;
- j) carteira de negociação própria;
- k) lucra na compra e venda (como um intermediário ou atravessador);
- l) encerra o dia sem posições significativas (posição neutra);
- m) mantém os ativos na carteira por um período muito curto;
- n) extrai margens muito pequenas por negociação;
- o) exige baixa latência;
- p) utiliza serviços de *co-location*/proximidade e alimentação direta de dados;

---

<sup>19</sup> Vuorenmaa (2013) coloca AT e HFT como duas formas distintas de negociação automatizadas. Diferencia uma da outra afirmando que o objetivo do AT é minimizar os custos de transação na negociação de grandes blocos de ativos, enquanto HFT busca maximizar a rentabilidade usando estratégias de negociação desenvolvidas para essa tarefa.

<sup>20</sup> Ressaltam, entretanto, que nem todas as características listadas precisam estar presentes para classificar um investidor ou uma estratégia como HFT. HFTs exibem a maior parte, mas não necessariamente todas as características listadas.

q) foco em instrumentos de alta liquidez.

Aldridge (2010) se refere ao HFT como a rápida realocação de capital, com transações ocorrendo em milésimos de segundos. Os sistemas são construídos utilizando complexos algoritmos que analisam os dados, tomam decisões de investimento e otimizam a execução das ordens.

O regulador do mercado de valores mobiliários americano, U.S. SEC (2010, p. 3606, tradução nossa), define HFT da seguinte forma:

O termo é relativamente novo e ainda não é claramente definido. É tipicamente usado para se referir a operadores profissionais agindo em capacidade proprietária engajados em estratégias que geram um grande número de operações diariamente. [...] Outras características usualmente atribuídas a firmas proprietárias que se engajam em HFT são: (1) uso de programas de computador extraordinariamente rápidos e sofisticados para gerar, rotear e executar ordens; (2) uso de serviços de *co-location* e fontes de dados oferecidos pelos ambientes de negociação e outros para minimizar latência de rede e outros tipos de latência; (3) espaços de tempo muito curtos para estabelecer e liquidar posições; (4) a emissão de numerosas ordens canceladas pouco tempo depois da emissão; e (5) terminar o dia de negociações em posição o mais neutra possível (isto é, não carregar posições significativas e não protegidas *over-night*).

A entidade também ressalta que nem todos os elementos descritos têm necessariamente que estar presentes para se classificar uma firma ou estratégia como HFT e alerta que a falta de uma definição clara de HFT complica uma revisão ampla de aspectos concernentes à estrutura de mercado (U.S. SEC, 2010).

Nesse sentido, duas revisões da literatura realizadas sobre o assunto enfatizam o fato de pesquisadores utilizarem diferentes definições para HFT e diferentes *proxys* para identificar essas operações (LITZENBERGER et al, 2012; U.S. SEC, 2014). Assim, estudos podem chegar a diferentes conclusões quanto a diversos aspectos como participação dos investidores de alta frequência e impactos.

Colocada a definição do termo, relata-se aqui a evolução tecnológica e institucional que desencadeou no fenômeno ora em análise. The Government Office For Science (2012) traça a evolução das tecnologias no sistema financeiro, desde o século XVIII até os mais recentes avanços que culminaram no AT e HFT, entrando em mais detalhes nas rápidas e significativas mudanças ocorridas a partir do século XXI.

O estudo afirma que fatores como velocidade de processamento de informações e de comunicação sempre foram prioridades nos mercados financeiros. Nessa evolução, destacam-se alguns episódios e fatores, como a automatização dos sistemas de negociação, a queda no custo de processamento e computação (seguindo a Lei de Moore), a utilização de modelos

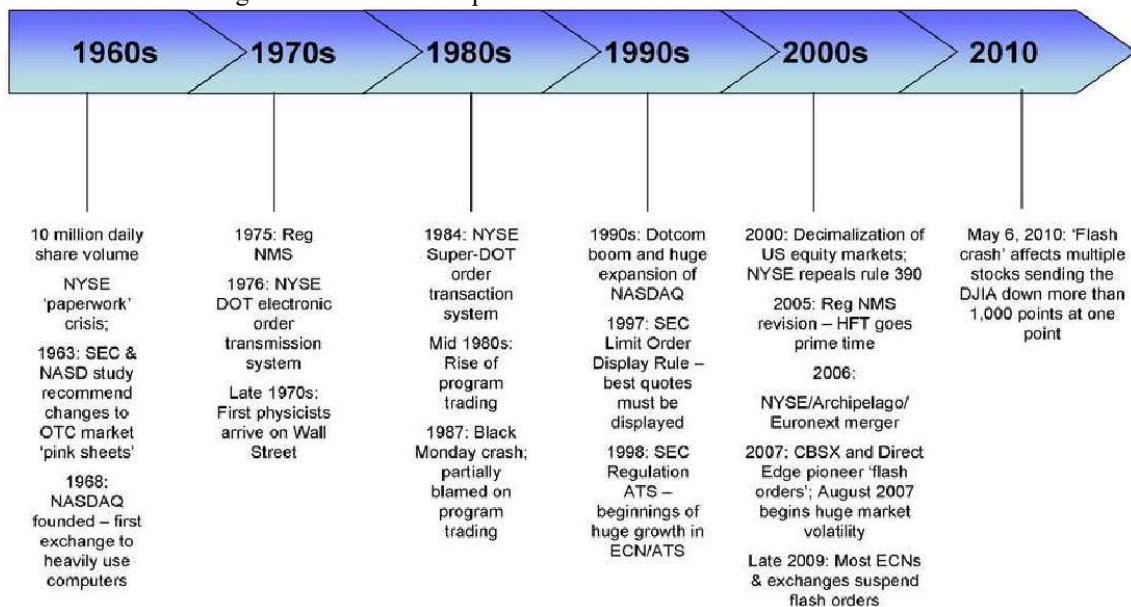


matemáticos complexos para administrar risco por parte de fundos de investimento, o “nascimento” do AT, a utilização de estatística avançada, grandes volumes de dados e análise técnica, o acesso direto ao mercado, entre outros. Também são apresentadas algumas mudanças no ambiente regulatório e institucional das empresas atuantes no mercado de capitais. Diante de todo esse cenário, um novo estilo de negociação surgiu, o HFT. Como coloca The Government Office For Science (2012, p. 30, tradução nossa):

Ao passo que os mercados financeiros globais se tornaram dependentes de computadores rodando sistemas de negociação automáticos e se comunicando uns com os outros via redes de fibra ótica, as velocidades de computação e de comunicação se tornaram dois dos principais meios para se ganhar e manter vantagem competitiva.

Nesse sentido, Smith (2010) explica algumas das principais transformações de cunho tecnológico, institucional e regulatório que levaram ao crescimento do HFT no mercado norte-americano. Entre essas transformações (expostas na Figura 2) estão fatores como a fundação da Nasdaq na década de 1960, a ascensão das negociações com algoritmos (*program trading*) na década de 1980, que são apontadas como um dos principais culpados no *Black Monday crash* em 1987, a revisão da Regulation NMS que resultou no uso acelerado de tecnologia para conectar mercados, e por fim, o *flash crash* de 6 de maio de 2010.

Figura 2 – Linha do tempo de eventos no mercado norte-americano



Fonte: Smith (2010, p. 10)

Ainda sobre a ascensão desta forma de negociação, Hara (2015, p. 257, tradução nossa) afirma que:

High frequency trading claramente tornou as coisas mais rápidas, mas ver o advento de HFT como sendo só sobre velocidade deixa escapar a revolução

que aconteceu nos mercados. A maneira que os investidores negociam, a maneira que os mercados estão estruturados, até a maneira que liquidez e descoberta de preço surgem – todos são diferentes agora no mundo de alta frequência.

No cenário traçado, a autora argumenta que a microestrutura de mercado assume um papel de destaque. Ao passo que as tecnologias que tornaram possível o fenômeno de HFT estavam se desenvolvendo na década de 1990, foram mudanças no ambiente regulatório, objetivando uma maior competição, que desencadearam a era de alta frequência (HARA, 2015). Entre essas mudanças estão, nos Estados Unidos, a Regulation ATS (*Alternative Trading Systems*) em 2000 e a Regulation NMS (*National Market System*) em 2007, e na Europa o MiFiD em 2007. Como consequência dessas alterações, os mercados de ações se fragmentaram e as negociações se dispersaram por uma gama de bolsas e mercados.

Nos Estados Unidos, em 2015, havia 11 bolsas de valores, mais de 50 sistemas de negociação alternativos<sup>21</sup>, dúzias de mesas de negociação executando operações internamente, 13 bolsas de derivativos, bem como vários mercados futuros operando contratos ligados a ações. Tal fragmentação traz uma grande complexidade ao ambiente de negociação (HARA, 2015).

Nesse âmbito, os mercados americanos e europeus diferem em grande medida do mercado brasileiro, que desde a fusão da BM&F com a Bovespa, que será comentada adiante, conta com apenas um ambiente de negociação. Hara (2015, p. 258) argumenta que:

Sem um mercado central, os investidores precisam buscar liquidez em muitos locais. Múltiplos locais executando negócios também significa que os preços não necessariamente são sempre os mesmos, abrindo portas para arbitragem entre mercados.

Segundo a autora, além da fragmentação de mercado, a prática do *co-location* permitida pelas bolsas (com o pagamento de uma taxa) e sistemas de dados com alimentação direta disponibilizados por estas (também por uma taxa), em contrapartida ao livro de ofertas consolidado padrão fornecido ao mercado, também foram práticas que permitiram que o HFT se espalhasse.

Goldstein, Kumar e Graves (2014) apresentam uma linha do tempo de falhas relacionadas a recursos tecnológicos, como algoritmos de negociação com comportamento inesperado e problemas de *software* e *hardware*, entre 2010 e 2013. São relatadas 14 ocorrências, com destaque para o *flash crash* de 6 de maio de 2010. Os autores ressaltam que pode haver diferença entre os impactos causados por HFT em condições normais e em

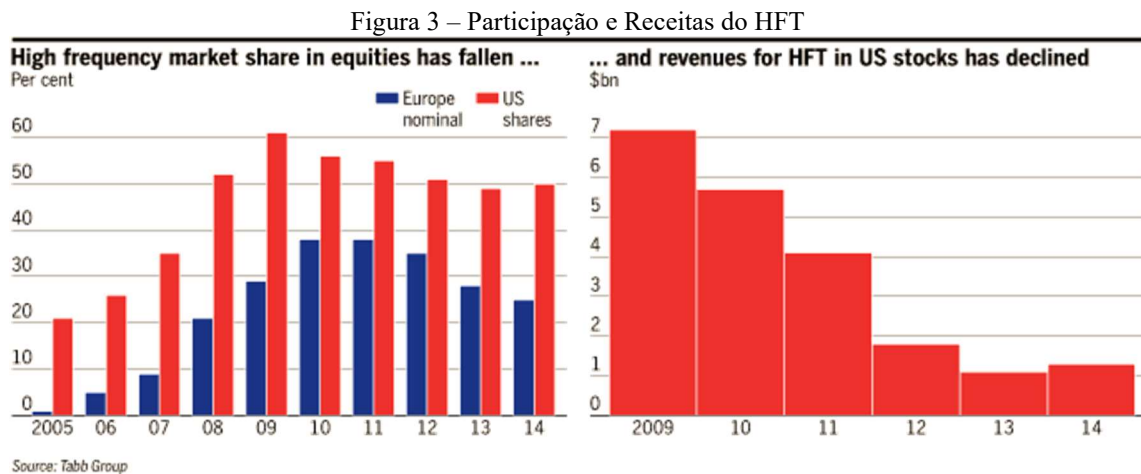
---

<sup>21</sup> Inclusos os *dark pools*

condições extremas, sendo benéficos em algumas circunstâncias, porém prejudicando o mercado em determinados casos.

Segundo Goldstein, Kumar e Graves (2014), pesquisadores e reguladores sugerem que a habilidade das firmas HFT de se retirarem rapidamente dos mercados pode ter tornado estes mais frágeis. Sua atuação pode criar um ciclo vicioso gerando riscos sistêmicos e momentos de instabilidade, como no *flash crash*.

Em reportagem no Financial Times, Massoudi e Stafford (2014) apresentam a participação do HFT nos mercados europeus e americanos e as receitas que eles obtêm negociando ações americanas, utilizando como fonte estudo elaborado pela consultoria Tabb Group. Nota-se na Figura 3 um crescimento acelerado entre 2005 e 2009 na participação, e após esse ano, uma queda tanto na participação quanto nas receitas. Nessa linha, Serbera e Paumard (2016) identificam uma queda da participação de mercado e da lucratividade do HFT a partir de 2009, causada pelo crescimento da competição tanto entre HFTs quanto de outros tipos de investidores.



Fonte: Massoudi e Stafford (2014, Sem Página)

### 2.3.1 Desenvolvimento do mercado de capitais brasileiro

Aqui são descritas algumas das principais etapas no desenvolvimento tecnológico e institucional do mercado de capitais brasileiro. Conforme colocado anteriormente, fatores como velocidade de processamento de informações e de comunicação sempre foram prioridades nos mercados financeiros. Assim, o mercado financeiro mostra-se um grande investidor e adotante precoce de novas tecnologias.

Nessa linha, a Federação Brasileira de Bancos, em pesquisa sobre tecnologia bancária de 2014, coloca o setor financeiro como um dos setores mais importantes no mercado de

tecnologia, sendo responsável por 18% dos gastos em TI no Brasil. A entidade aponta que no referido ano “o total de gastos em TI pela indústria bancária foi equivalente a USD 11,9 bilhões, com altos investimentos quando comparado a países emergentes como Índia e México e aproximando-se de países desenvolvidos como França e Alemanha” (FEBRABAN, 2014, p. 44).

Santana Junior (2014), em dissertação sobre o papel das tecnologias da informação no funcionamento e gestão do sistema financeiro em escala global, traça uma linha do tempo com os principais avanços tecnológicos da BM&FBovespa, fazendo um paralelo com acontecimentos econômicos e institucionais do período. Tal linha do tempo é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Linha do tempo das inovações tecnológicas no mercado de capitais brasileiro

	<b>Segmento Bovespa</b>	<b>Segmento BM&amp;F</b>	<b>Mudanças econômicas/institucionais</b>
1992	Iniciadas as negociações por meio do Sistema de Negociação Eletrônica – CATS (Computer Assisted Trading System)		Início do processo de abertura e liberalização do mercado brasileiro
1997	Implantação da plataforma eletrônica Mega Bolsa (baseada na plataforma NSC, da Euronext)		Início do programa de privatizações no governo de Fernando Henrique Cardoso.
1999	Lançamento da modalidade de negociação Acesso Direto ao Mercado (DMA, na sigla em inglês) para o segmento de ações (Bovespa). Implantação da interface para Home Broker.		Fim do regime de câmbio fixo
2000		Implantação da plataforma eletrônica Global Trading System (baseada na plataforma NSC, da Euronext)	Lançamento do “Novo Mercado” e dos níveis diferenciados de governança corporativa
2002			Programa de popularização da Bovespa
2003	Primeiros Ats (AlgoTradings) utilizados na bolsa brasileira		
2004		Web Trading (WTr): primeira interface automatizada	Início da chamada “era dos IPOs”.
2005	Início do PQO - Programa de Qualificação Operacional Fim do pregão viva-voz na Bovespa		
2007		Novo GTS: plataforma desenvolvida internamente pela BM&F, fornecendo uma interface FIX.	Desmutualização e IPO da Bovespa e da BM&F

	<b>Segmento Bovespa</b>	<b>Segmento BM&amp;F</b>	<b>Mudanças econômicas/institucionais</b>
2008	Nova versão da plataforma Mega Bolsa (NSC v900), com interface FIX.	Lançamento da modalidade de negociação DMA para o segmento de derivativos (BM&F) e estabelecimento do acordo de roteamento de ordens com a Bolsa Mercantil de Chicago (CME)	Fusão das Bolsas BM&F e Bovespa. Brasil recebe título de grau de investimento pela agência S&P. Crise financeira mundial.
2009	Implantação da interface de entrada de ordens Mega Direct (desenvolvida internamente pela BM&FBovespa) para o Mega Bolsa.	Fim do pregão viva-voz na BM&F (que já tinha predominância eletrônica desde 2007). Início da modalidade de Colocation.	
2010	Início da modalidade de Co-location.		
2011		Substituição do GTS pela plataforma PUMA Trading System	
2013	Substituição do Mega Bolsa pela plataforma PUMA Trading System		

Fonte: Santana Junior (2014, p.143 e 144) com dados de BM&FBovespa.

O advogado Ary Oswaldo Mattos Filho *apud* Barcellos (2010), presidente da CVM entre 1990 e 1992, comenta que duas mudanças estimularam o crescimento do mercado na década de 1990. Por um lado, os investidores institucionais estrangeiros vieram ao mercado brasileiro, e por outro, investidores institucionais brasileiros cresceram e passaram a atuar pesadamente. Isso causou uma mudança radical na bolsa, que antes era mantida por transações de poucos grandes investidores, e assim o mercado começou a ficar muito mais profissional.

Alfredo Rizkallah *apud* Barcellos (2010, p. 86), presidente da Bovespa entre 1973 e 1976 e entre 1996 e 2000, explica a evolução tecnológica do mercado:

Na segunda metade da década de 1990, ocorreram transformações muito grandes na Bolsa de Valores de São Paulo. Um dos destaques foi a informatização total da Bolsa de Valores de São Paulo. Trocamos todo o sistema de negociação e criamos o que é chamado Mega Bolsa [...] um grupo de técnicos da Bovespa foi vasculhar as bolsas mais modernas do mundo inteiro, como Frankfurt, Paris, Londres, Nova York, Chicago e Tóquio, para ver os sistemas de negociação vigentes, e que seriam mais adaptáveis à nossa realidade. Foram eleitos quatro sistemas. [...] Decidimos transformar o nosso sistema de negociação, então lastreado num único e grande computador IBM, que processava todas as operações, a liquidação dessas operações, fazia o controle de custódia, a tesouraria e toda a parte administrativa. Cada vez que o nosso volume aumentava, tínhamos que trocar o computador. Decidimos fazer uma separação entre a operação e a administração de bolsa e trouxemos um sistema novo de operação, o Mega Bolsa. Escolhemos um sistema que teve origem na Bolsa de Paris e mesclamos com equipamentos americanos. Essas máquinas que geriam as operações de bolsa eram modulares. Tínhamos uma média de 15 mil a 18 mil negócios por dia, e cada módulo era capaz de

processar 25 mil. Quando os negócios aumentaram, era só ir modulando, em vez de trocar um computador inteiro.

Alfredo Rizkallah coloca que esse sistema tinha uma velocidade muito maior que o anterior, e que a informação ia direto para a corretora, iniciando-se o sistema eletrônico de operação. Rizkallah *apud* Barcellos (2010, p. 86) aponta ainda que:

A possibilidade de negociações eletrônicas acelerou enormemente a capacidade de fazer operações além da voz humana e do preenchimento de um boleto. Houve uma revolução no mercado, principalmente em relação às pessoas físicas. Criamos o Home Broker, que era o único no mundo na época.

Conforme Barcellos (2010, p. 174), “Em 1999, foi implantado o Home Broker, que trouxe a revolução da internet para as operações em bolsa. Por meio de uma corretora, o investidor passou a transmitir sua ordem de compra ou venda diretamente ao Mega Bolsa”.

Destaca-se também no período a negociação para formação de uma única bolsa de valores no Brasil. Alfredo Rizkallah *apud* Barcellos (2010, p. 87) descreve o período da seguinte forma:

[...] Seria impossível desenvolver um grande mercado com as oito bolsas que tínhamos no país, cada uma com seu sistema, corretores atuando, ainda mais no momento em que existe uma tecnologia eletrônica. Começamos esse processo de parceria e integração com as outras bolsas em 1998. No ano seguinte, a maioria delas já tinha aderido. Ao longo de 2000 a integração foi efetivamente implementada e todas as bolsas brasileiras já estavam integradas num único centro de negócios com ações no país.

Conforme Yazbek (2009), ao final da década de 1990, com a concentração dos negócios na bolsa de São Paulo, a liquidez do mercado não justificava a dispersão existente. Dessa maneira, foram assinados acordos entre a Bovespa e demais bolsas locais, que passaram a atuar como prestadoras de serviços em suas respectivas praças, “quase como escritórios da Bovespa” (YAZBEK, 2009, p. 141). A partir de 2000, a Bolsa de Valores do Rio de Janeiro deixou de operar com ações, e assim a Bovespa se tornou a única bolsa a negociar valores mobiliários no Brasil. Yazbek (2009, p. 141) destaca que:

[...] Nesta posição, ela vem criando, ainda, sistemas próprios para o registro de operações com títulos de dívida corporativa (o Bovespafix), níveis diferenciados para a listagem de títulos emitidos por companhias que se comprometem com padrões de governança corporativa (os “Níveis Diferenciados de Governança Corporativa” e o “Novo Mercado”) e sistemas eletrônicos para negociação, inclusive via internet.

Ao lado do movimento concentracionista, complementa Yazbek (2009), a mais importante tendência nos últimos anos em matéria de organização das atividades de bolsa talvez

tenha sido a desmutualização<sup>22</sup>. Yazbek (2009, p. 137) coloca que, dadas as “feições dos mercados atuais e a atuação global dos conglomerados, as bolsas precisariam, para garantir liquidez, atrair novos participantes, o que se daria pela profissionalização de suas estruturas, por ganhos em eficiência e por redução de custos”. Tal processo poderia ser facilitado com a desmutualização, movimento iniciado na Europa em 1993 com a Bolsa de Valores de Estocolmo.

Seguindo a tendência iniciada na Europa, a Bovespa se desmutualizou em 2007 e na sequência obteve seu registro de companhia aberta, passando a ter ações de sua emissão negociadas em seu próprio ambiente de negociação. A BM&F, principal centro de realização de operações com derivativos na América Latina, passou pelo mesmo processo aproximadamente um mês após a Bovespa. Na sequência, obteve o registro de companhia aberta e também passou a ter suas ações negociadas na Bovespa (YAZBEK, 2009).

Em 2008, a BM&F assinou acordo operacional, comercial e de investimento recíproco com o CME Group Inc., grupo que congrega a Chicago Mercantile Exchange e Chicago Board of Trade. Tal acordo englobava (YAZBEK, 2009, p. 142 e 143):

[...] a implementação de um mecanismo de “roteamento de ordens” (“*order routing*”), que permitirá que ordens recebidas nos sistemas da BM&F (hoje BM&FBOVESPA) sejam transferidas para os sistemas de negociação do CME Group e, da mesma maneira, que ordens recebidas nos sistemas deste último sejam transferidas para os sistemas de negociação da BM&F, o que representa um significativo aprimoramento das estruturas de distribuição da bolsa brasileira [...].

Já em maio de 2008, a Bovespa e a BM&F tiveram sua integração aprovada, criando a BM&FBovespa – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros.

Thomaz (2013) observa que o crescimento do volume de negociações HFT nos Estados Unidos e na Europa está ligado diretamente à existência de vários centros de liquidez. Em artigo para a revista Capital Aberto, Thomaz (2013, p. 40) afirma que a “fragmentação de mercado incentiva a chamada arbitragem de latência – nome dado ao tempo de processamento das ordens em bolsa – e cria um ambiente de concorrência entre os pregões que incentiva o aprimoramento dos sistemas tecnológicos”.

Ainda segundo Thomaz (2013, p. 40), esse é um dos fatores para o percentual de negociações HFT no Brasil ser menor do que nos Estados Unidos e Europa. Complementa que

---

<sup>22</sup> Entendida como a transformação das bolsas de associações civis em sociedades anônimas, sujeitas ao regime empresarial.

“Esse cenário pode se configurar no Brasil se Bats, Direct Edge e, mais recentemente, ATS levarem adiante seus planos de ingressar no mercado local e competir com a BM&FBovespa”<sup>23</sup>.

Entre os avanços operacionais da bolsa, cita-se a implantação do sistema de acesso direto ao mercado – DMA, definido pela empresa como (BM&FBOVESPA, 2016b, sem página):

[...] um canal de comercialização de ativos que conecta o cliente final, autorizado por sua corretora, ao ambiente eletrônico de negociação da Bolsa. Por esta via, o investidor recebe informações de mercado em tempo real, inclusive o livro de ofertas, e envia suas ordens de compra e venda ao sistema.

Tal tipo de acesso é oferecido em quatro modalidades, Tradicional (DMA1)<sup>24</sup>, Via Provedor (DMA2)<sup>25</sup>, Conexão Direta (DMA3)<sup>26</sup> e Co-location (DMA4)<sup>27</sup> (BM&FBOVESPA, 2016b). Na busca de baixas latências por parte dos investidores, destaca-se a modalidade DMA4 – *co-location*. Segundo a BM&FBovespa (2016b, sem página):

Na negociação via *co-location*, as ordens de compra e venda são geradas diretamente pelos clientes finais, via infraestrutura tecnológica de TI (hardware e software) instalados em servidores hospedados no centro de processamento de dados da BM&FBOVESPA. Por conta da proximidade, o cliente tem a possibilidade de negociar com latência reduzida.

Dados operacionais da BM&FBovespa (2016a) mostram que a utilização de tal recurso teve um crescimento considerável desde a sua implantação no segmento Bovespa, em setembro de 2010. No primeiro mês, as operações via *co-location* representavam 0,2% do volume financeiro negociado e 1,4% do número de negócios. Já em abril de 2016, os negócios

<sup>23</sup> Cabe salientar que, até a conclusão desta dissertação, a BM&FBovespa continuava com o monopólio no mercado de bolsas de valores no Brasil, apesar das movimentações de outros grupos para ingressarem no mercado brasileiro.

<sup>24</sup> “DMA Tradicional (modelo 1) consiste no roteamento de ofertas via infraestrutura tecnológica (física) da corretora, admitindo duas configurações: conexão direta do cliente com a infraestrutura da corretora e, a partir desta, com a Bolsa (soluções home broker); e conexão do cliente com uma empresa provedora de serviço de roteamento de ordens, desta com a corretora e, por fim, da corretora com a Bolsa (conexões automatizadas). O home broker é uma ferramenta de acesso aos mercados da Bolsa oferecida por quase todas as corretoras e por meio da qual os investidores negociam ações e minicontratos pela internet, sem sair de casa ou no próprio trabalho, enviando ordens de compra e venda pelo site da corretora. As ofertas enviadas pelo cliente trafegam pela infraestrutura tecnológica da corretora antes de alcançarem as plataformas de negociação aqui na BM&FBOVESPA. O cliente conecta-se diretamente à infraestrutura tecnológica da corretora e esta, à Bolsa.”

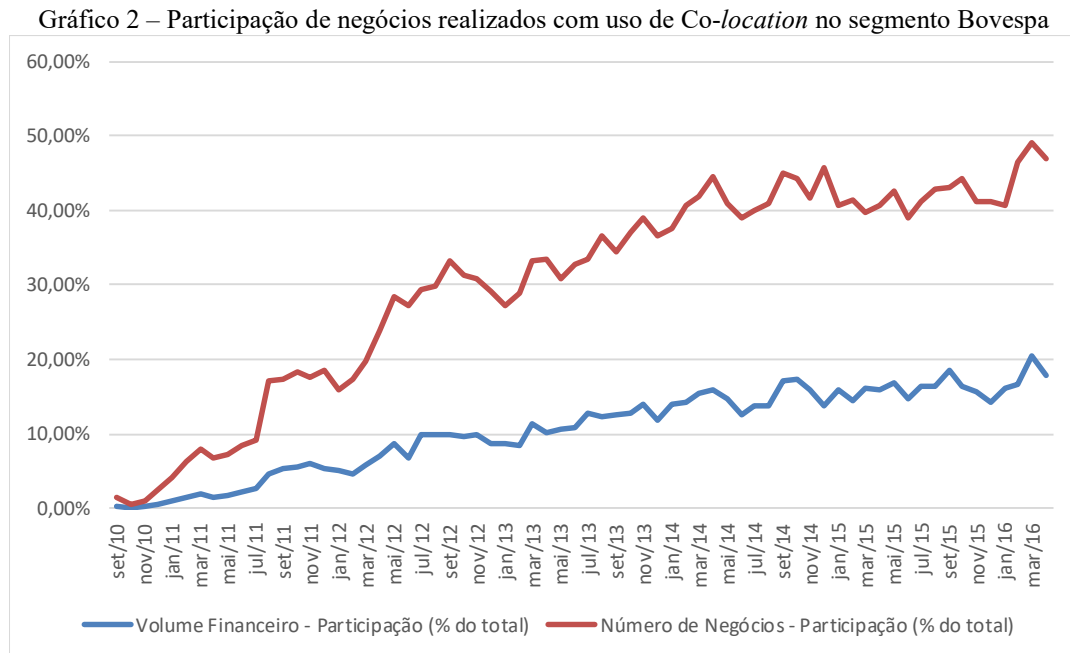
<sup>25</sup> “Neste modelo de Acesso Direto ao Mercado (DMA) o cliente conecta-se diretamente à empresa provedora de DMA; esta, por sua vez, interliga-se à Bolsa. O roteamento das ordens ocorre via infraestrutura fornecida pela empresa provedora de Acesso Direto ao Mercado (DMA). O vínculo lógico entre o cliente e a corretora é controlado pelos sistemas da Bolsa e da provedora de DMA, uma vez que as mensagens enviadas pelo cliente não trafegam pela infraestrutura tecnológica da corretora.”

<sup>26</sup> “No Acesso Direto ao Mercado (DMA) via conexão direta (modelo 3), as ofertas são enviadas via interligação direta do cliente com a Bolsa, sem a utilização da infraestrutura tecnológica da corretora ou de uma empresa provedora de DMA.”

<sup>27</sup> Para mais detalhes e um panorama técnico do funcionamento do acesso via *co-location*, ver <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/servicos/negociacao/acesso-direto-ao-mercado-dma/co-location-dma4/modalidades.htm](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/negociacao/acesso-direto-ao-mercado-dma/co-location-dma4/modalidades.htm)>. Acesso em 25/07/2016.



representavam 17,8% do volume financeiro e 46,9% do número de negócios, conforme pode ser observado no Gráfico 2.



Em 2013 ocorreu Substituição do Mega Bolsa pela plataforma PUMA Trading System no segmento Bovespa. No Relatório da Administração das Demonstrações Financeiras de 2013, a BM&FBovespa (2013, p. 10) coloca o PUMA Trading System como um dos destaques de seu desenvolvimento tecnológico:

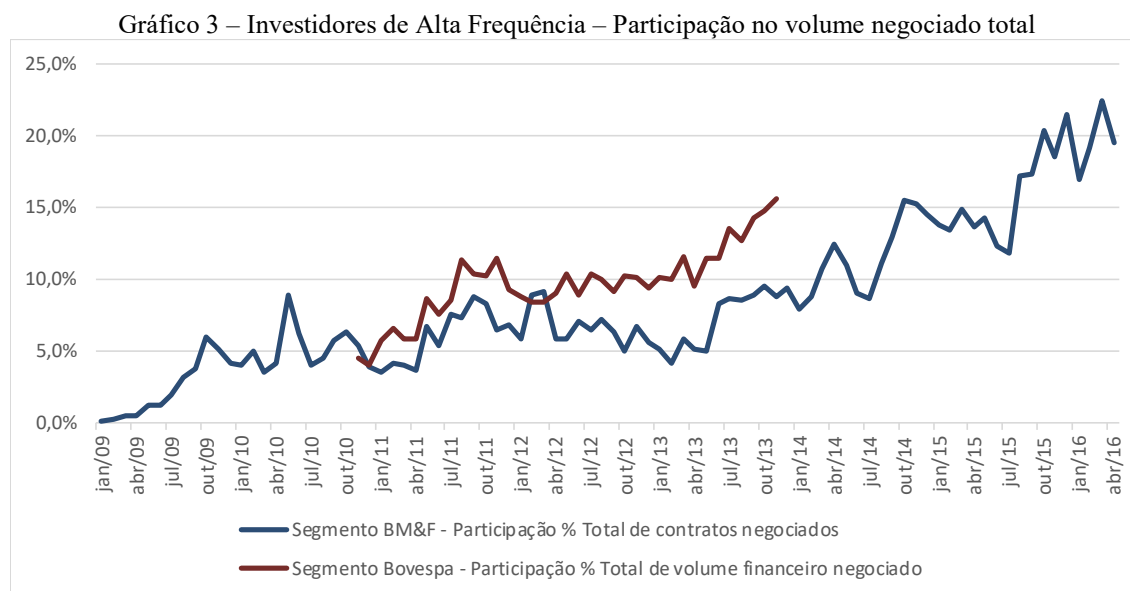
**PUMA Trading System:** em abril de 2013, foi finalizado o processo de implantação do módulo de ações e derivativos de ações da plataforma multimercado PUMA Trading System, desenvolvida em parceria com o CME Group. Essa plataforma, que está em funcionamento no segmento BM&F desde o segundo semestre de 2011, oferece aos participantes do mercado uma solução integrada de altíssima performance, a qual é expressa por meio da alta capacidade e baixíssima latência no processamento de mensagens. A plataforma PUMA possui uma importância estratégica singular ao equiparar a tecnologia presente na BM&FBOVESPA a das melhores plataformas existentes no mercado internacional, ao mesmo tempo em que garante independência tecnológica para a Companhia.

Segundo Thomaz (2013, p. 39), a implantação do novo sistema fez parte da estratégia da BM&FBovespa de aumentar a participação das negociações HFT no mercado:

Os Estados Unidos e a Europa estudam formas de conter o avanço das negociações em alta frequência – ou high frequency trading(HFT), em inglês –, ao passo que o Brasil prepara o terreno para estimulá-las. A BM&FBovespa promete lançar em breve o Puma Trading System, plataforma multi-ativos que substituirá o Mega Bolsa e outras plataformas e baixará o tempo de execução das negociações de alta frequência dos atuais 15 milissegundos para cerca de 1 milissegundo. O ganho de agilidade iguala a Bovespa a pares internacionais

e abre caminho para a Bolsa bater uma meta que, em 2012, acabou virando sonho. O objetivo era realizar 20% das operações em alta frequência, mas esse percentual não ultrapassou 10%.

O Gráfico 3 apresenta a participação<sup>28</sup> dos investidores HFT<sup>29</sup> no volume total negociado no segmento BM&F e no segmento Bovespa.



Fonte: Elaboração própria com dados de BM&FBovespa (2016a); A partir de dez/13, as estatísticas de HFTs no segmento Bovespa deixaram de ser divulgadas pela BM&FBovespa.

No âmbito do desenvolvimento da infraestrutura da bolsa, destaca-se a construção do *data center* em Santana de Parnaíba, cidade a cerca de 40 quilômetros de São Paulo, no qual foram investidos 200 milhões de reais. Finalizado em 2014, o centro visava, além de garantir maior eficiência e robustez ao negócio, dificultar a entrada de concorrentes e suprir a demanda por *co-location* e negociações em alta frequência. Conforme noticiado pela página na internet da revista Capital Aberto (CARRION, 2014, sem página):

São 3 mil metros quadrados equipados com geradores de energia e refrigeradores robustos. Os engenheiros responsáveis garantem que o sistema

<sup>28</sup> A participação consiste nos investidores cadastrados como investidores de alta frequência (HFT). Conforme Ofício Circular 028/2010, a partir de 2010 a BM&FBovespa adotou um programa de incentivo para HFT (BM&FBovespa, 2010, p. 1): “A BM&FBovespa informa sua nova política de tarifação para investidores de alta frequência (High-Frequency Trader, HFT) para os segmentos Bovespa e BM&F. Esse modelo foi desenvolvido a partir de ampla e produtiva discussão com os participantes do mercado e faz parte do projeto contínuo da Bolsa de estimular a liquidez de seus mercados. Por entender que o mercado brasileiro mostra-se atraente para investidores de alta frequência, nacionais e internacionais, e que estes oferecem o benefício inequívoco de proporcionar liquidez aos mercados administrados pela Bolsa, a presente política se aplica apenas aos cadastrados como investidores de alta frequência (HFT). É importante destacar que os demais investidores também se beneficiarão desta política, pois encontrarão um mercado mais líquido e com spreads mais estreitos, resultado da presença dos investidores de alta frequência”.

<sup>29</sup> Em sua definição de HFT, o Anexo I ao Ofício Circular coloca: “É importante destacar que o perfil do HFT é o do investidor que opera grandes volumes na forma de *day trade*, podendo ou não fazer uso de algoritmos automatizados para execução de suas ordens” (BM&FBovespa, 2010, p. i).

é praticamente à prova de falha: as estruturas são duplicadas, de modo a continuar operando caso haja algum problema. [...]

Os high frequency traders, que operam com algoritmos de alta frequência e dependem de rapidez na realização das operações, serão particularmente beneficiados. Hoje, 120 metros de cabos de fibra ótica separam o local onde os servidores desses clientes ficam do centro de operações da bolsa. Agora, serão menos de 20 metros, o que diminuirá o tempo de latência e permitirá operações mais rápidas.

### 2.3.2 Estratégias Adotadas por HFTs

Definido o termo HFT e explicado seu surgimento e atual estado, aqui são apresentadas as principais estratégias adotadas por investidores classificados como HFTs para em seguida se proceder com a revisão sistemática da literatura sobre os impactos no mercado causados pela prática.

Conforme Angel e McCabe (2013), há uma ampla variedade de estratégias que podem ser implementadas com o uso de tecnologias de alta frequência. A maior parte delas não se configura como um novo tipo de estratégia, mas como estratégias já existentes auxiliadas pelo uso de computadores rápidos e algoritmos. Tais estratégias são descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Estratégias adotadas por HFT

Estratégia	Descrição
<i>Market Making</i>	Nessa estratégia, o investidor compra de quem está vendendo e vende para quem está comprando, lucrando com a diferença entre o preço de compra e de venda, conhecido como <i>bid-ask spread</i> . Este tipo de estratégia provê liquidez para o mercado e a competição entre diferentes investidores utilizando esta estratégia pode diminuir tal <i>spread</i> .
Arbitragem	Muitos instrumentos financeiros são economicamente relacionados um ao outro. Quando o preço de um difere do outro, é possível para um arbitrador lucrar comprando o ativo mais barato e vendendo o mais caro. Um exemplo é o preço de um ETF, que pode estar diferente do preço das ações que o compõem, permitindo a um investidor lucrar sem correr risco. Essas transações fazem com que o preço do ETF se ajuste ao preço das ações que fazem parte do mesmo. Tal estratégia também pode ser implementada negociando o mesmo ativo em mercados diferentes. Como as discrepâncias de preços não costumam durar muito tempo, investidores utilizam tecnologias de alta frequência para aproveitar as oportunidades que desaparecem rapidamente.
<i>Pair Trading</i> e Arbitragem Estatística	Os preços de alguns instrumentos costumam subir e descer juntos, e quando há um desalinhamento existe a oportunidade de lucro para o investidor, apesar de não existir garantia de que os preços irão sempre convergir. Tal tipo de estratégia ajuda a manter os preços de ações ou de grupos de ativos relacionados alinhados.

Estratégia	Descrição
Estratégias de Reação a Notícias	Quando uma companhia anuncia algo importante ou algum evento ocorre, o consenso de mercado sobre o preço de um ativo pode mudar. Boas notícias tendem a impactar positivamente o preço de uma ação, e más notícias negativamente. Acompanhar e reagir às notícias é algo feito desde o início dos mercados de ações, e o processo faz com que os mercados incorporem as informações a um consenso da estimativa de preço de um instrumento financeiro. A velocidade sempre foi um fator chave neste tipo de estratégia, e hoje utiliza-se escaneamento de diferentes fontes de notícias para obter informações relevantes e implementar decisões de compra e venda.
Estratégias Técnicas e Preditiva	Investidores que realizam análise técnica usam uma variedade de análises do preço e volume de negociações para discernir a direção futura dos preços. As técnicas podem ser automatizadas com o uso de computadores e algoritmos.
Estratégia de Descoberta de Ordens	Objetiva-se descobrir a existência de grandes ordens a espera de serem negociadas. Compras ou vendas de grandes blocos de ações tendem a mover o preço de mercado para cima ou para baixo, respectivamente. Identificando uma possível transação de um grande bloco, o investidor pode se adiantar ao movimento e obter lucros. Discute-se se tal estratégia pode ser considerada predatória. Angel e McCabe (2013), porém, defendem que ela beneficia o mercado por produzir preços mais precisos e por mover o preço dos ativos ao novo equilíbrio, acelerando o processo de ajuste de mercado.

Fonte: Elaboração própria com base em Angel e McCabe (2013).

Além das estratégias descritas anteriormente, há, segundo Angel e McCabe (2013), algumas estratégias utilizadas por HFTs que podem ser consideradas manipulativas ou predatórias. Tais estratégias, já utilizadas em mercados tradicionais, buscam mover o preço dos ativos de seu valor real para lucrar com as discrepâncias criadas pelo próprio operador. Ainda de acordo com os autores, estratégias manipulativas como as apresentadas no Quadro 3 são consideradas ilegais conforme o Securities Exchange Act de 1934.

No caso do mercado brasileiro, a Instrução CVM Nº 8, de 1979, dispõe sobre condições artificiais de demanda, oferta ou preço de valores mobiliários, manipulação de preço, operações fraudulentas e práticas não equitativa, vedando tais práticas.

Quadro 3 – Estratégias manipulativas adotadas por HFT

Estratégia	Descrição
<i>Front Running</i>	Ocorre quando um participante descobre que outro investidor fará uma transação significativa e corre na frente da transação. Um exemplo é quando um corretor recebe a ordem de compra de um cliente e, sabendo que tal ordem pode elevar o preço do ativo, compra o mesmo ativo antes de executar a ordem para o cliente, o que faz com que o último pague mais caro. Segundo Angel e McCabe (2013), alguns críticos alegam que HFTs usam a tecnologia para “correr na frente” de outros investidores.
<i>Order Triggering</i>	O operador coloca uma ordem de venda a descoberto grande o suficiente para levar o preço para baixo. Ao observarem a queda, outros investidores são induzidos a vender, reduzindo ainda mais o preço. Caso o preço caia o suficiente, algumas ordens <i>stop-loss</i> podem ser ativadas e o preço da ação cai ainda mais. Nessa situação, o manipulador compra a ação para cobrir a venda a descoberto e lucra com a operação. O uso de computadores auxilia a encontrar oportunidades com potencial de lucro para praticar essa estratégia.

Estratégia	Descrição
<i>Spoofing</i>	Um operador que deseja comprar pode colocar ordens de venda, que posteriormente são canceladas pelo mesmo, para manipular outros operadores, como algoritmos com estratégia <i>Market making</i> , e comprar o ativo por um preço artificialmente mais baixo.
<i>Wash Sale</i>	Venda fictícia utilizada para manipular o mercado. Por exemplo, um operador coloca ordens de compra e venda ao mesmo tempo de diferentes contas para parecer que há interesse no ativo. Faz isso sucessivamente para simular liquidez e uma trajetória ascendente de preço, com o objetivo de atrair a atenção e enganar outros investidores.
<i>Quote Stuffing</i>	Utiliza a alta velocidade dos computadores para emitir milhares de ordens para o ambiente de negociação e cancelá-las imediatamente. O objetivo não é negociar, mas atrapalhar outros investidores cujos sistemas são freados com o tráfego intenso de mensagens. Em muitos casos é difícil saber com exatidão se tal tipo de ação é intencional ou fruto de um software mal feito interagindo com um mercado complexo habitado por outros sistemas. Porém, para Angel e McCabe (2013), independentemente da causa, o excesso de cancelamentos é uma forma de poluição que gera quantidades massivas de dados e custos para o mercado como um todo.

Fonte: Elaboração própria com base em Angel e McCabe (2013).

O livro de não-ficção *Flash Boys*, de Michael Lewis, *best-seller*<sup>30</sup> publicado em 2014 nos Estados Unidos, traça um panorama da situação do mercado financeiro com a introdução do HFT e desenha um mercado injusto e fraudado. A narrativa envolve um operador do Royal Bank of Canada que, ao perceber que suas ordens não estavam sendo transacionadas conforme esperava, começa a suspeitar do mercado e vai atrás dos problemas. Em sua trajetória, o operador investiga em profundidade o HFT e conclui que o mercado de ações está fraudado por firmas que utilizam a vantagem que têm na velocidade com a utilização de tecnologias de baixa latência para manipular o mercado e lucrar com as operações em detrimento aos demais investidores. Diante da situação, o operador propõe-se a criar uma nova bolsa que eliminaria a vantagem dos HFTs, tornando o mercado mais justo para os outros investidores (LEWIS, 2014).

Durante a narrativa, Lewis (2014, sem página) descreve as estratégias predatórias utilizadas pelos HFTs:

[...] ao tentar projetar uma bolsa onde os investidores ficariam a salvo dos operadores de alta frequência, eles mesmos estavam deduzindo como estes perseguiram suas presas. Ao analisarem os tipos de ordem, criaram uma taxonomia do comportamento predatório no mercado de ações. Em termos gerais, revelou-se que existiam três atividades levando a um volume enorme de negociações bizarramente iníquas e desleais. À primeira eles deram o nome de ‘front-running eletrônico’: ver um investidores tentar fazer alguma coisa num lugar e correr para chegar à frente dele no lugar seguinte [...]. Batizaram a segunda de ‘arbitragem de rebate’: utilizar a nova complexidade para

<sup>30</sup> O livro atingiu o primeiro lugar na lista de livros de não-ficção mais vendidos da New York Times. <<http://www.nytimes.com/best-sellers-books/2014-04-20/hardcover-nonfiction/list.html>>. Acesso em 20/09/2015.

embolsar quaisquer comissões que a bolsa oferecesse sem fornecer de fato a liquidez que a comissão supostamente deveria atrair. A terceira, que provavelmente era, de longe, a mais generalizada, foi chamada de ‘arbitragem de mercado lento’. Esta ocorria quando um operador de alta frequência podia ver a mudança de preço de uma ação numa bolsa e então arrebanhava as ordens pendentes em outras bolsas, antes que estas pudessem reagir. Digamos, por exemplo, que o mercado para as ações da P&G estivesse em US \$ 80-80,01 e que houvesse compradores e vendedores nas duas pontas em todas as bolsas. Chegaria um grande vendedor na Bolsa de Nova York e abaixaria o preço para US \$ 79,98-79,99. Os operadores de alta frequência comprariam na Bolsa de Nova York a US \$ 79,99 e venderiam em todas as outras bolsas a US \$ 80, antes de o mercado mudar oficialmente. Isso acontecia todos os dias, o dia todo, e gerava um montante de bilhões de dólares anuais superior a todas as outras estratégias somadas.

Não obstante o fato de o livro ser livremente baseado em fatos reais, sem preocupações em ser isento de vieses ou acurado em seus dados e descrições técnicas, ele foi amplamente divulgado na mídia<sup>31</sup> e gerou um intenso debate sobre o tema nos Estados Unidos, ajudando a moldar negativamente a opinião pública a respeito do HFT. Conforme coloca Keller (2012), muito do perigo real por trás do HFT está na maneira como este mancha a percepção pública sobre o mercado de capitais americano. Lattemann et al. (2012) afirmam que a percepção pública sobre HFT é amplamente negativa, influenciada por manchetes que clamam pela proibição ou rigorosa regulação, mesmo com análises científicas chegando a diferentes conclusões.

Uma percepção negativa, mesmo que não baseada em estudos que comprovem impactos prejudiciais da prática, pode afastar os investidores do mercado, impactando-o negativamente.

A partir da definição de HFT e apresentação de sua adoção e crescimento no mercado, tanto brasileiro como mundial, colocam-se as duas primeiras hipóteses da pesquisa quantitativa.

Como foi visto, o HFT é caracterizado, entre outros fatores, pelo grande número de ordens, giro rápido das carteiras, margens pequenas por negociação e foco em ativos de alta liquidez. Busca-se, nesse contexto, avaliar a evolução do número de transações, volume negociado e volume por negócio no mercado brasileiro, e como essas variáveis estão correlacionadas com a adoção e o crescimento do HFT e do *co-location* no mercado nacional. Assim, a **Hipótese 1** e a **Hipótese 2** foram definidas como:

**Hipótese 1:** O número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado.

---

<sup>31</sup>Reportagem sobre o tema foi veiculada no programa 60 Minutes da rede americana CBS. [http://www.cbs.com/shows/60\\_minutes/video/6qRRzfhK7ORdlymkjLXXfjmZWwJC2nHN/is-the-u-s-stock-market-rigged-/](http://www.cbs.com/shows/60_minutes/video/6qRRzfhK7ORdlymkjLXXfjmZWwJC2nHN/is-the-u-s-stock-market-rigged-/). Acesso em 21 de setembro de 2015.

**Hipótese 2:** O aumento no número de negociações e diminuição no valor por operação é mais acentuado entre as ações mais líquidas.

Explicado o que é HFT e como se dá sua utilização no mercado, a seguir são descritos os impactos identificados em pesquisas sobre o tema.

## 2.4 Revisão sistemática da literatura sobre HFT

Para atender aos objetivos específicos “c” e “d”, de analisar os impactos avaliados por pesquisas prévias e identificar riscos e maneiras de mitigá-los, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, cujo procedimento se encontra detalhado no Quadro 5.

Estão descritos aqui artigos que tratam sobre impactos do HFT nos mercados financeiros nos seguintes indicadores de qualidade de mercado: liquidez, volatilidade, eficiência/descoberta de preços e custos de transação. Em seguida, são apontados os pontos positivos que operações HFT trazem ao mercado, conforme relatado nos artigos. Também são abordados os impactos negativos avaliados pelos estudos aqui descritos. Tais análises permitem identificar tendências na literatura sobre o tema. Para sintetizar e categorizar os pontos levantados, foi elaborado um mapa conceitual sintetizando o tema com a ferramenta IHMC Cmap Tools.

Chordia et al. (2013) apresentam um sumário de quatro artigos publicados na mesma edição do *Journal of Financial Markets* avaliando os impactos de operações HFT. O primeiro artigo analisado pelos autores, de Hasbrouck e Saar (2013), avalia as atividades de baixa latência para investigar os impactos de HFT no ambiente de mercado. Para isso, os autores criam uma medida para identificar operações do tipo e investigam a qualidade do mercado tanto em períodos de normalidade quanto em períodos de queda de preços e de incerteza econômica.

O segundo artigo comentado por Chordia et al. (2013) é de Carrion (2013). Neste artigo, o autor analisa o desempenho de HFT, custos de transação e efeitos na eficiência do mercado ocasionados por HFT utilizando, para isso, uma amostra de transações e ofertas disponibilizada pela NASDAQ que identifica expressamente a participação de HFT.

Menkveld (2013), também analisado por Chordia et al. (2013) aborda a estratégia de negociação de um grande HFT. Dessa maneira, o autor não foca no problema aqui proposto. Por último, Chordia et al. (2013) analisam artigo de Hagströmer e Nordén (2013). Neste artigo, os autores avaliam diferentes estratégias utilizadas por operadores HFT, utilizando para isso dados da NASDAQ-OMX Stockholm.

Angel e McCabe (2013) tratam de forma teórica sobre a prática de HFT ser justa ou não. Para isso os autores descrevem algumas estratégias utilizadas por esta categoria de investidor e tratam sobre diferentes noções de justiça para avaliar as práticas. Os autores comentam sobre justiça processual, definindo-a como a perspectiva de oportunidades iguais, avaliando que as mesmas regras se aplicam a HFT e outros tipos de investidores. Outra noção de justiça seria equidade de resultados, para a qual os autores avaliam que muitas estratégias de HFT são benéficas para os outros participantes do mercado, portanto a prática não pode ser considerada categoricamente como injusta. Os autores complementam a análise afirmando que determinadas estratégias, adotadas tanto por HFT quanto por investidores de baixa frequência não são justas. Dessa maneira, consideram que se deve distinguir entre a tecnologia e o uso que é feito da tecnologia para julgar a justiça das práticas.

Angel e McCabe (2013) citam em seu artigo o estudo Foresight: The Future of Computer Trading in Financial Markets (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012). Tal projeto, desenvolvido por órgão de pesquisa ligado ao governo do Reino Unido, reuniu uma série de pesquisadores para avaliar os impactos de avanços tecnológicos nos mercados financeiros e a necessidade de regulação para lidar com os fenômenos de HFT e AT.

Zink e Selmier (2013) conduzem entrevista com John Succo, profissional com larga experiência na gestão de *hedge funds*. A entrevista concentra-se nos temas de HFT e *dark pools*.

Loveless, Stoikov e Waeber (2013) tratam sobre a estruturação de algoritmos para operar HFT, porém sem entrar no mérito de possíveis benefícios e malefícios que estratégias HFT podem trazer ao mercado. Loveless (2013) também não aborda o problema de pesquisa aqui proposto, concentrando-se em aspectos tecnológicos de HFT e estrutura de mercado.

Lattemann et al. (2012) apresentam uma coleção de artigos que ajudam a definir HFT e contribuem para a discussão sobre as implicações positivas e negativas das operações HFT. Nos artigos são apresentadas as perspectivas de representantes da área de sistema de informações, de gestores de negócios, do banco central da Alemanha (Deutsche Bundesbank) e do Deutsche Börse AG, agente de comercialização de valores mobiliários.

Sun, Kruse e Yu (2013) constroem um modelo de otimização discreta para explicar como HFT pode ser aplicado para suprir liquidez e reduzir custos de execução. Os pesquisadores fazem uma série de simulações, e posteriormente investigam empiricamente o mercado de ações americano no período de janeiro de 2008 e 2010 para verificar as conclusões atingidas com as simulações.

Tavan (2012) trata sobre críticas dirigidas ao HFT e respostas de reguladores ao redor do mundo.



Moallemi e Saglam (2013) fazem simulações para avaliar os benefícios que um investidor pode alcançar diminuindo a latência nas suas operações de mercado. Os autores salientam que essa análise é diferente de avaliar os custos sociais da latência, ou seja, se o mercado como um todo torna-se melhor ou pior dada uma baixa latência. Portanto, o artigo não trata sobre o problema de pesquisa aqui proposto.

Savani (2012) trata da história, impactos e futuro do HFT, fazendo algumas considerações sobre possíveis impactos positivos baseado em outros artigos. Davis, Kumiega e Van Vliet (2013) abordam questões éticas envolvendo a automatização de operações financeiras e o crescimento de HFT.

Jarrow e Protter (2012) avaliam a questão de se HFT melhora ou piora a eficiência do mercado criando um modelo para simular operações e avaliar seus resultados.

Lee (2013) utiliza um conjunto de dados bastante detalhados fornecido pelo mercado de índices futuros sul-coreano KOSPI 200 para investigar o comportamento de HFT, sua lucratividade, os impactos de tais operações na qualidade do mercado e seu papel no processo de descoberta de preços.

### **Aspectos positivos**

Hasbrouck e Saar (2013), em estudo empírico com metodologia própria para identificar HFT, sugerem que o aumento de atividades de baixa latência melhora indicadores de qualidade de mercado, diminuindo o *spread* e a volatilidade de curto prazo e aumentando a profundidade do livro de ordens. As melhoras foram observadas tanto em períodos de normalidade quanto em períodos de estresse de mercado. Com isso, os autores concluem que o aumento de atividade de baixa latência no mercado de ações americano não necessariamente prejudica os investidores de longo prazo.

Hagströmer e Nordén (2013), ao avaliar diferentes estratégias utilizadas por operadores HFT utilizando para isso dados da NASDAQ-OMX Stockholm, concluem que operações da estratégia de fomentador de mercado constituem a maior parte das operações HFT na NASDAQ-OMX Stockholm e afirmam que o aumento da atividade de HFTs dessa natureza diminui a volatilidade de curto prazo.

Entre as estratégias benéficas adotadas por HFT, Angel e McCabe (2013) citam fomentador de mercado pois a prática estabiliza preços no curto prazo eliminando "bolsas de ar". Para os autores, a competição entre fomentadores de mercado reduz as diferenças entre preços pedidos e ofertados no livro de ofertas para um nível mais competitivo. A competição de firmas HFT realizando essa estratégia também beneficia os investidores ao aumentar o

número de títulos (profundidade) que um investidor pode comprar em um determinado momento sem afetar o preço do ativo, portanto criando liquidez.

Angel e McCabe (2013) também comentam que estratégias de descoberta de ordens utilizadas por HFT, que alguns podem julgar como predatórias e comparar a *front running*, podem beneficiar o mercado levando-o a produzir preços mais precisos e acelerando o processo de ajuste de preços para o novo preço de equilíbrio. Ademais, os autores argumentam que investidores de longo prazo se beneficiam da liquidez proporcionada por fomentadores de mercado e da qualidade de preços trazida por arbitradores, outra estratégia utilizada por firmas HFT. Os autores também relatam a redução de custos de transação como um outro aspecto positivo da prática.

The Government Office for Science (2012) relata que as evidências mostram uma melhora na liquidez de mercados financeiros resultante de operações baseadas em computadores (*Computer Based Trading*, ou CBT) e HFT. Entretanto, ressalta que pode haver alguns problemas relacionados à provisão de liquidez em momentos de estresse do mercado. Segundo a pesquisa, essa conclusão é reforçada por estudos patrocinados por outros governos, incluindo pesquisas realizadas pelos reguladores da Austrália, Canadá e Suécia. Porém é ressaltado que, como esse é um fenômeno recente, não há muito material publicado disponível e com a evolução do assunto são necessárias precauções ao avaliar as conclusões. O instituto ressalta, entretanto, que ainda há muita discussão tanto na questão metodológica, de como medir determinados indicadores, quanto nas conclusões alcançadas.

No mesmo estudo, conclui-se que custos de transação caíram tanto para investidores de varejo quanto para os institucionais devido às mudanças estruturais no mercado, muitas das quais são relacionadas diretamente com o desenvolvimento de HFT. Outro ponto levantado por The Government Office for Science (2012) é que os preços de mercado tornaram-se mais eficientes, consistente com a hipótese de que negociações baseadas em computador interliga mercados e conseqüentemente facilita a descoberta de preços.

Sun et al. (2013) constroem um modelo de otimização discreta para explicar como HFT pode ser aplicado para suprir liquidez e reduzir custos de execução. Os autores fazem uma série de simulações, e posteriormente investigam empiricamente o mercado de ações americano no período de janeiro de 2008 e 2010 para verificar as conclusões atingidas com as simulações. Com seu modelo proposto para simulação e investigação empírica, concluem que HFT melhora a qualidade do mercado e reduz impactos de preço. Os autores, entretanto, não avaliam os efeitos quanto à volatilidade.

Lattemann et al. (2012) apresentam uma coleção de artigos que ajudam a definir HFT e contribuem para a discussão sobre as implicações positivas e negativas de tal tipo de operação. Para Peter Gomber, comentado por Lattemann et al. (2012), HFT traz eficiência ao mercado e diminui custos explícitos e implícitos de transação. Ryan Riordan, analisando a microestrutura do mercado interpreta que HFT contribui para a eficiência nas transações e tem papel importante no processo de formação de preço, mas diz que ainda não se pode dizer se terá um impacto positivo ou negativo nos mercados de capitais. Ainda no artigo de Lattemann et al. (2012), Rainer Riess e Michael Krogmann julgam que HFT leva a um processamento mais rápido de informações, aumenta a liquidez e, dessa maneira, cria valor para a economia como um todo.

Carrion (2013) sugere que HFTs proporcionam liquidez quando esta é escassa e consomem liquidez quando esta é abundante. Ademais, que HFTs podem melhorar a eficiência de preços quando demandam liquidez. Segundo o autor, preços incorporam informações de forma mais eficiente nos dias em que a participação de HFT é maior.

### **Aspectos negativos**

Retornando a Angel e McCabe (2013), os autores descrevem determinadas práticas adotadas por HFT que podem ser consideradas manipulativas e abusivas, prejudicando outros investidores, como por exemplo *order ignition* e *quote stuffing*. Também alertam que o excesso de cancelamento de ordens é uma prática que impõe custos a determinados participantes do mercado.

Zink e Selmier (2013), em entrevista com John Succo, profissional com larga experiência na gestão de *hedge funds*, relatam que, na opinião do entrevistado, em tempos normais HFT subtrai liquidez do mercado, e em tempos fora do normal seus efeitos podem ser desestabilizadores. Com isso, HFT cria mais volatilidade tanto em tempos normais quanto em períodos fora do normal. Ademais, na opinião de Succo, HFTs também pode interromper o processo de descoberta de preço.

Tavan (2012) trata sobre críticas dirigidas ao HFT e respostas de reguladores ao redor do mundo. No artigo, Martin Schulz, presidente do Parlamento Europeu, afirma que conter HFT resultaria em maior estabilidade e preveniria futuros *flash crashes*. Ainda na opinião do mesmo, a liquidez criada descrita no estudo de The Government Office for Science (2012) seria uma falsa liquidez, apenas uma ilusão, e que liquidez verdadeira é criada por investidores reais construindo seus portfólios e por fomentadores de mercado (TAVAN, 2012).

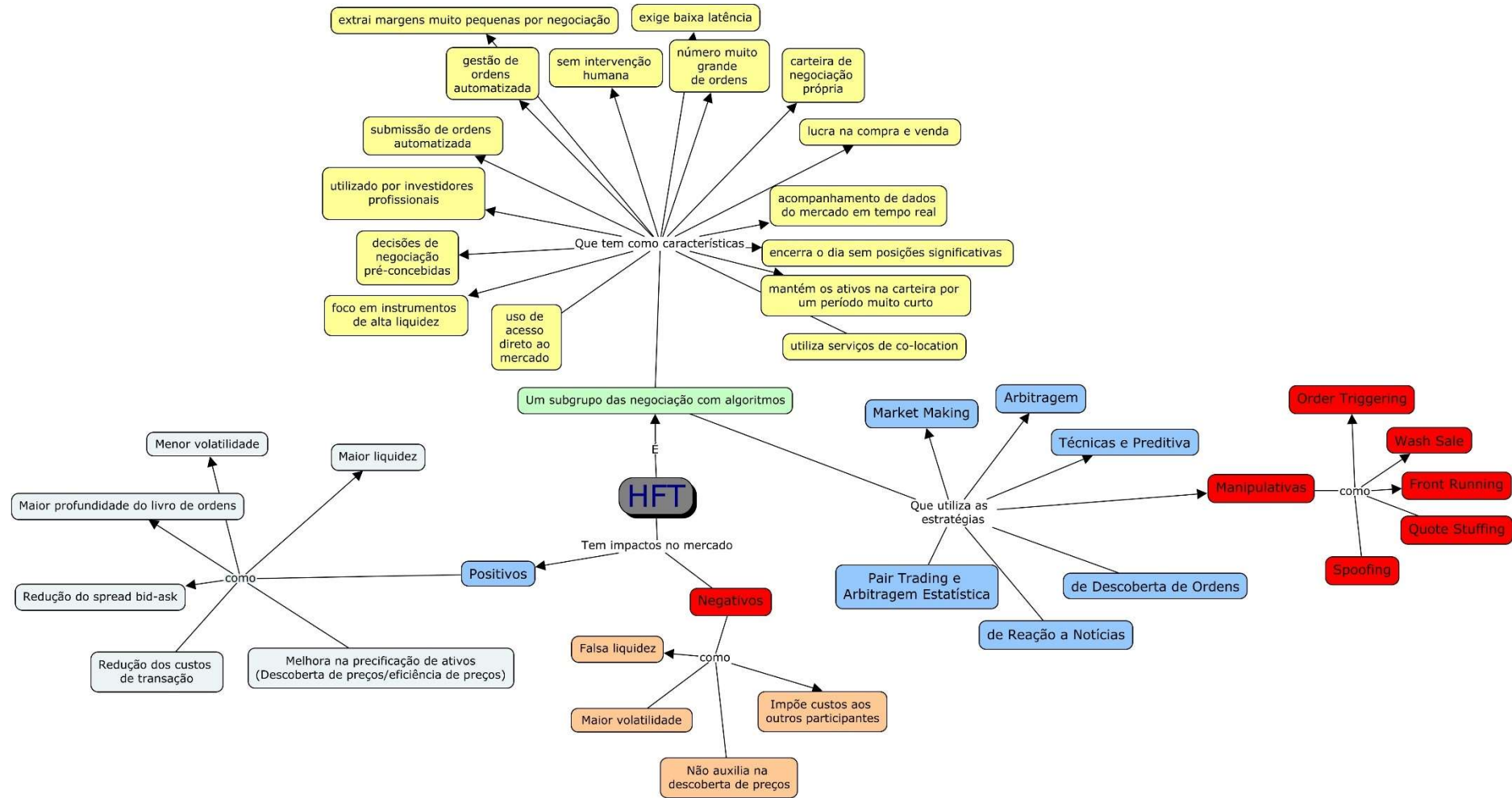
No artigo de Lattemann et al. (2012), Arne Breuer e Hans-Peter Burghof comentam que pelo fato de as operações HFT processarem informação de curto prazo elas não contribuem para a avaliação do valor intrínseco dos ativos negociados, e pedem uma regulação mais restrita de HFT. Na perspectiva de reguladores, Joachim Nagel e Rafael Zajonz argumentam que os impactos do HFT na eficiência dos mercados de valores mobiliários ainda não são claros para os reguladores devido à escassez de estudos científicos, mas que a possibilidade de desestabilizar os mercados em situações de volatilidade é considerada crítica e deve ser analisada em detalhes. Além disso, comentam que existem estratégias amigáveis para o mercado, mas também estratégias não amigáveis que podem causar danos.

Jarrow e Protter (2012) avaliam a questão de se HFT melhora ou piora a eficiência do mercado criando um modelo para simular operações e avaliar seus resultados. Por meio de simulações com o modelo proposto, os autores concluem que a introdução de HFT aumenta a volatilidade e gera oportunidades de retorno anormais para HFTs em detrimento aos investidores ordinários.

Lee (2013), em estudo do mercado de índices futuros sul-coreano KOSPI 200 conclui que HFT não proporciona liquidez para o mercado, não melhora a eficiência de mercado e é prejudicial ao processo de descoberta de preços.

O mapa conceitual apresentado na Figura 4 sintetiza os pontos identificados sobre o tema HFT nesta revisão da literatura, apontando a definição do termo, principais características, impactos analisados na literatura e estratégias utilizadas.

Figura 4 - HFT



Fonte: Elaboração própria

Com base na revisão sistemática da literatura, identificou-se que a questão da eficiência informacional e descoberta de preços é um aspecto recorrente, e sem uma resposta definitiva. Dessa maneira, tal assunto será tratado com mais detalhes ainda neste referencial teórico. Além disso, foi desenhada uma pesquisa empírica, com análise estatística de retornos do índice Bovespa, para avaliar a eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro e como esta foi impactada pelo HFT.

## 2.5 Regulação de mercados de capitais

Conforme apresentado na revisão sistemática, foram identificadas características na atuação dos HFTs que podem trazer riscos para o mercado. Entre esses riscos, foram apontados a possibilidade de desestabilizar os mercados em situações de volatilidade, a ilusão de liquidez, a possibilidade de aumento da volatilidade, a adoção de práticas consideradas manipulativas e ilegais, a imposição de custos aos demais participantes do mercado, o prejuízo ao processo de descoberta de preços, entre outros.

Nessa seção, são identificadas respostas de reguladores e maneiras para mitigar tais riscos, conforme objetivo específico “d”. Convém assim, em um primeiro momento, explicar o que significa regulação<sup>32</sup> e seus objetivos. Yazbek (2009, p. 186) define regulação como:

[...] atividade exercida por órgãos públicos, incidente sobre relações privadas e corporificada em um amplo conjunto de atos de regulamentação e de execução que incidem sobre a possibilidade de acesso dos agentes privados ao mercado e o regime de sua atuação, assim como sobre a própria estrutura do mercado.

Conforme coloca Yazbek (2009, p. 33):

A transição da administração de riscos, de um regime de mercado para estruturas hierárquicas diversas, seja pela criação de arranjos privados destinados a manter o controle sobre outros agentes, por meio de regras legais protetivas ou pela regulação de atividades, funda-se no reconhecimento de insuficiências do mercado, que o impediriam de, eficientemente, cumprir suas funções. [...]

Nesse sentido, coloca o autor, a existência de falhas de mercado é a principal justificativa para a intervenção estatal, que objetiva sua correção. Entre as diversas categorias de falhas de mercado existentes, Yazbek (2009) destaca quatro mais comumente citadas: o monopólio e a concentração de poder nos mercados, as assimetrias informacionais e outros

---

<sup>32</sup> Lembrando que o termo autorregulação foi definido no tópico que apresenta os mercados secundários.

problemas correlatos, como relação *principal-agent*, *moral hazard*, seleção adversa<sup>33</sup> e sinalização, as externalidades e os bens coletivos.

Eizirik et al. (2008) colocam que os objetivos da regulação, orientados pelo interesse público, são a proteção aos investidores, eficiência do mercado, criação e manutenção de instituições confiáveis e competitivas, evitar a concentração de poder econômico e impedir a criação de situações de conflitos de interesse.

Retomando o tema da globalização Mcinish (2000) ressalta que a maior parte das ações de regulação são adotadas individualmente pelos países e governam as atividades dentro de tal país. Porém, há uma tendência de coordenação dos esforços de regulação e adoção de práticas internacionais. Nesse sentido, o Comitê de Basileia trata de políticas comuns para a regulação de bancos e a IOSCO preocupa-se com a regulação de mercados de capitais.

Goldstein, Kumar e Graves (2014) afirmam que a SEC e outros reguladores e instituições investigam se as práticas de HFT beneficiam os investidores que nelas se engajam em detrimento ao resto do mercado. Relatam os autores que algumas iniciativas, como a Regulation SCI (*Systems Compliance and Integrity*), que determina padrões de governança de TI, manutenção e testes para os sistemas utilizados por bolsas e corretores, estavam sendo propostas<sup>34</sup>. Além disso, o regulador norte americano chegou a punir determinadas empresas por práticas manipulativas relacionadas ao HFT. Ainda nessa linha, os autores comentam que reguladores de outros países adotaram medidas mais rígidas para restringir a atuação de firmas HFT do que os reguladores americanos.

A Figura 5, publicada na revista Capital Aberto, apresenta algumas das principais medidas adotadas ou estudadas por reguladores ao redor do mundo<sup>35</sup>. No artigo, são comentadas ainda medidas adotadas pela BM&FBovespa, como política de controle de ordens e cancelamentos e procedimento de vigília de ordens, para que as negociações em alta frequência possam avançar sem maiores prejuízos ao mercado como um todo (THOMAZ, 2013).

---

<sup>33</sup> Em seu artigo *The Market for Lemons*, (AKERLOF, 1970) analisa as implicações das assimetrias informacionais e seleção adversa no funcionamento dos mercados tomando como exemplo o mercado de carros usados. Segundo ele, a assimetria informacional entre compradores e vendedores a respeito de produtos aparentemente similares faz com que os vendedores prefiram ofertar bens de pior qualidade, uma vez que o preço obtido seria o equivalente ao preço que conseguiriam nos bens de qualidade mais elevada. Tal situação cria um problema de seleção adversa, pois afasta os compradores do mercado, o que leva à redução das operações ou até ao colapso do mercado. Conclui que, em alguns casos, a intervenção estatal pode aumentar o bem-estar de todos os participantes do mercado ao corrigir tais falhas.

<sup>34</sup> A referida norma entrou em vigor no mercado dos Estados Unidos em fevereiro de 2015.

<sup>35</sup> Ressalta-se que a CVM, até a conclusão desta dissertação, não havia publicado nenhuma instrução com foco no tema. Porém o regulador brasileiro criou em 07/06/2016 núcleo especializado para acompanhamento e estudo de inovações tecnológicas no mercado de capitais, incluindo o HFT.

Figura 5 – Iniciativas Regulatórias

**Olho vivo**  
Reguladores de vários países do mundo criam medidas para coibir o avanço das operações em alta frequência

País	Órgão regulador	Norma
Alemanha	German Federal Financial Supervisory Authority	Os operadores de HFT precisam de uma licença para atuar no país. Além disso, devem informar quais ordens estão sendo executadas através de algoritmo e a estratégia pretendida.
Austrália	Australian Securities and Investments Commission	Controle sobre a volatilidade dos preços e restrição às ordens automatizadas
Canadá	Investment Industry Regulatory Organization of Canadá	Proíbe negociações em alta frequência com potencial de gerar manipulação, como o envio e o cancelamento de ordens sem a realização de negócios, ou qualquer outra situação artificial de mercado ou precificação
França	Autorité des Marchés Financiers	Pretende banir o HFT em seu mercado de capitais. Enquanto isso não ocorre, tem desestimulado essas operações através da cobrança de uma taxa de 0,01% sobre as operações de ordem de compra e os cancelamentos que ocorrerem em um período de até cinco segundos
União Europeia	Autoridade Europeia de Títulos e Mercados	Estuda a exigência de um limite e de um tempo mínimo para envio e cancelamentos de ordens com o intuito de impedir distorções no mercado



Fonte: Thomaz (2013, p. 40)

Um amplo estudo realizado por um órgão de pesquisa do governo britânico avaliou os impactos do desenvolvimento tecnológico nos mercados de capitais e as perspectivas para o período compreendido entre 2012 e 2022, com foco nas negociações com algoritmos e em alta frequência. O estudo aponta alguns riscos advindos da complexidade trazida por essas operações, mas, apontando alguns efeitos benéficos encontrados, como na liquidez, custos de transação e eficiência na formação de preços, sugere que qualquer nova regra ou regulação deve levar em conta tais benefícios (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012).

Ainda conforme the Government Office for Science (2012, p. 99, tradução nossa), “há uma variedade de políticas propostas para lidar com esse novo mundo de negociações com os objetivos de melhorar o desempenho do mercado e reduzir o risco de falhas de mercado”.

Santana Junior (2014) analisa as medidas listadas por The Government Office for Science (2012)<sup>36</sup> e aponta quais são adotadas no mercado brasileiro, conforme sintetizado no Quadro 4.

<sup>36</sup> No estudo, as duas primeiras medidas listadas no Quadro 4 são apontadas como potencialmente efetivas. No caso das restantes, o estudo indica que é provável que sejam problemáticas. The Government Office for Science (2012) alerta que, ainda que as conclusões sobre potenciais medidas sejam consistentes com as evidências existentes, é recomendável avançar os estudos empíricos que avaliam as medidas em particular. Ainda, que decisões sobre regras não devem ser tomadas isoladamente, pois pode haver interações significativas entre estas.



Quadro 4 - Medidas de regulação e controle de risco nos mercados financeiros<sup>37</sup>

<b>Medida</b>	<b>Adotado no mercado de capitais brasileiro</b>
Interrupção de circuito ( <i>Circuit breakers</i> )	Sim
Políticas de <i>Tick</i> mínimo	Não
Notificação de algoritmos	Sim
Imposições dirigidas a formadores de mercado	Sim (para alguns mercados)
Estabelecimento de tempo mínimo de espera nos tempos de ordens	Não
Taxação <i>Maker-taker</i>	Não
Razões de ordens por execução ( <i>Orders to execution ratios</i> )	Não
Livro central de ordens limite ( <i>The virtual central limit order book - CLOB</i> )	Não
Leilões de chamadas ( <i>call auctions</i> )	Sim
Internalização ( <i>dark trading</i> )	Não
Bandas e limites de negociação	Sim

Fonte: Adaptado de Santana Junior (2014).

The Government Office for Science (2012) sugere, ainda, que para lidar com o aumento da complexidade e evitar problemas de assimetrias informacionais e de principal-agente, legisladores e reguladores poderiam: (i) requerer que ambientes de negociação publiquem informações usando carimbos de tempo precisos, de alta resolução e sincronizados; (ii) melhorar a padronização da conectividade das plataformas de negociação. Também sugere a criação de um centro para coletar, padronizar e analisar dados de mercado, que poderiam ser utilizados por acadêmicos e reguladores.

## 2.6 Hipótese dos mercados eficientes

Conforme relatado anteriormente, a revisão sistemática permitiu identificar a questão da eficiência informacional como um aspecto recorrente nas análises de impactos do HFT no mercado, e sem uma resposta definitiva. Tal questão remete à hipótese dos mercados eficientes, conceito explorado nesse tópico. Os objetivos específicos “f”, “g” e “h” estão relacionados a esse tema:

f) Verificar se o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente em sua forma fraca nos últimos anos e se há alguma relação com a presença de HFT

g) Verificar se há relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade no mercado brasileiro

<sup>37</sup> Para mais detalhes sobre as propostas, com indicação de evidências, benefícios, custos e riscos de cada medida, consultar The Government Office for Science (2012). Para uma breve descrição de cada uma, consultar Santana Junior (2014).

h) Comparar a eficiência informacional do mercado nacional em diferentes frequências de observação dos dados.

A hipótese dos mercados eficientes, termo cunhado por Harry Roberts e explorado em profundidade por Eugene Fama, é um dos pilares da teoria moderna de finanças e uma proposição central da matéria. Conforme coloca Fama (1970, p. 383, tradução nossa):

O papel primário de um mercado de capital é a alocação de propriedade do estoque de capital da economia. Em termos gerais, o ideal é um mercado no qual os preços fornecem sinais precisos para alocação de recursos: isto é, um mercado no qual firmas podem tomar decisões de produção-investimento, e investidores podem escolher entre os títulos que representam posse das atividades da firma sob a suposição de que os preços dos títulos em qualquer momento 'refletem integralmente' todas as informações disponíveis. Um mercado no qual os preços sempre 'refletem integralmente' a informação disponível é chamado de 'eficiente'.

Na definição de Malkiel (2003), mercados financeiros eficientes são aqueles que não permitem que investidores tenham retornos acima da média sem se exporem a riscos acima da média.

Pressupõe-se da HME que, em um mercado eficiente, as informações relevantes são incorporadas imediatamente nos preços dos ativos transacionados e que o preço corrente de um título é a melhor estimativa de seu valor real. Desse modo, não existem oportunidades de ganhos anormais (acima da taxa normal de retorno) para os investidores (CAMARGOS; GOMES; BARBOSA, 2003).

Shleifer (2000), coloca que, em um mercado eficiente, o investidor médio, seja um indivíduo, fundo de pensão ou fundo mútuo, não deve esperar retornos consistentemente acima do mercado, e que os recursos que este investe em análise, seleção e negociação de títulos são desperdiçados. Dessa maneira, é mais vantajoso manter passivamente o portfólio de mercado do que gerir ativamente os investimentos e descarta-se a possibilidade de sistemas de negociação baseados apenas em informações disponíveis no momento presente obterem ganhos acima do mercado.

As empresas, por sua vez, devem esperar receber o valor justo (ou seja, seu valor presente) pelos títulos que vendem. Destarte, "em mercados eficientes de capitais não existem oportunidades valiosas de financiamento decorrentes de enganar os investidores" (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002, p. 279).

De acordo com Shleifer (2000), a base teórica da HME repousa sobre três condições que se baseiam em pressupostos progressivamente mais fracos. A existência de qualquer condição entre as expostas leva à eficiência (ROSS et al., 2015; SHLEIFER, 2000).

A primeira, que investidores são racionais e, portanto, avaliam os ativos de forma racional. Nesse caso, os investidores avaliam os ativos pelo seu valor fundamental. Quando alguma informação passível de alterar o valor fundamental do ativo é aprendida pelos investidores, os preços se ajustam praticamente imediatamente para corresponder ao novo valor presente líquido dos fluxos de caixa futuros.

Ross et al. (2015) colocam que há momentos em que as pessoas agem de forma pouco racional. Mesmo assim, o mercado continua eficiente caso a segunda condição esteja presente. Essa condição é de desvios de racionalidade independentes. Conforme explica Shleifer (2000), ao passo que alguns investidores não são racionais, o mercado continua eficiente caso suas negociações sejam aleatórias e, dessa maneira, cancelem uma a outra sem afetarem os preços.

Ross et al. (2015) complementam afirmando que a eficiência não necessita que todos os investidores sejam racionais caso as irracionalidades se contrabalanceiem. Os últimos autores alertam, entretanto, que tal hipótese pode não ser realista o tempo todo: “Talvez, em certos momentos, a maioria dos investidores seja varrida pelo otimismo excessivo e, outras vezes, possa cair na armadilha das angústias do pessimismo extremo” (ROSS et al., 2015, p. 464).

Nesse caso, a terceira condição, a arbitragem, é capaz de levar à eficiência. Na medida em que investidores são irracionais de maneiras similares, a presença de arbitradores racionais no mercado elimina sua influência nos preços. Shleifer (2000) explica os mecanismos da arbitragem e seus efeitos no mercado e conclui que, teoricamente, a competição entre arbitradores por lucros garante que os preços confluem para seu valor fundamental rapidamente<sup>38</sup>.

Tem-se da HME que os mercados respondem rapidamente e os preços dos ativos se ajustam instantaneamente às informações. Entretanto, observa-se na prática que algumas informações tendem a afetar os preços mais rapidamente que outras. Conforme colocam Ross, Westerfield e Jaffe (2002), para lidar com velocidades de reação diferentes, classificam-se as informações em três subgrupos: informações a respeito de preços passados, informações publicamente disponíveis e toda informação. A partir desses subgrupos, são definidos três níveis de eficiência: eficiência fraca, eficiência semiforte e eficiência forte (CAMARGOS; GOMES; BARBOSA, 2003; ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002).

---

<sup>38</sup>Ross et al. (2015) destacam que há discordâncias quanto à confirmação das condições expostas no mundo real, com muitos acadêmicos, incluindo o professor Shleifer, defendendo que nenhuma das condições se mantém na realidade. Tal ponto de vista é baseado no ramo de pesquisa das finanças comportamentais.

Em sua forma fraca, o mercado incorpora integralmente as informações contidas nos preços passados. Sendo assim, um investidor não seria capaz de gerar lucro com base na expectativa de que preços passados podem sinalizar preços futuros<sup>39</sup>.

Ross, Westerfield e Jaffe (2002) argumentam que um motivo para esperar que os mercados sejam eficientes em sua forma fraca é o de que é barato e fácil encontrar padrões de comportamento em preços de ações. Assim, “se tais padrões existissem, as pessoas os encontrariam e aproveitariam, o que por sua vez faria com que desaparecessem” (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002, p. 284).

Um mercado é considerado eficiente em sua forma semiforte quando os preços, além das informações históricas dos próprios, refletem também toda informação publicamente disponível, tais como balanços contábeis, notícias da imprensa, fatos relevantes, etc. A implicação de tal eficiência é de que investidores não conseguem retornos anormais utilizando análise fundamentalista.

Em sua forma forte, o mercado reflete qualquer tipo de informação, pública ou não. Ou seja, qualquer informação pertinente ao valor do título que seja conhecida por pelo menos um investidor se refletirá integralmente no preço do título. Nessa forma, torna-se improvável a obtenção de lucros extraordinários de qualquer maneira, mesmo no caso de um *insider* negociando com informações privilegiadas. Segundo o argumento dos partidários dessa hipótese, assim que o *insider* procurasse negociar utilizando essas informações, o mercado perceberia o que está ocorrendo e o preço da ação subiria antes dele poder comprá-la (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002).

Bruni e Famá (1998) apresentam, em relação a ativos de mesmo risco, três grandes metodologias baseadas na análise do comportamento das séries temporais dos retornos empregadas para verificar empiricamente a hipótese de eficiência fraca. As metodologias são: (i) jogo justo (*fair game*); (ii) *Martingale/Submartingale*; e (iii) rumo aleatório (*random walk*). A última é utilizada nesta pesquisa para avaliar os retornos intradiários do índice Bovespa, e será explicada ainda neste capítulo.

Ross, Westerfield e Jaffe (2002) sintetizam que a literatura é reconfortante para os partidários da eficiência de mercado. Na visão dos autores, a evidência encontrada na literatura, quando tomada em conjunto, é compatível com a hipótese de eficiência fraca.

---

<sup>39</sup> Implica-se dessa forma de eficiência que a análise técnica, termo utilizado para se referir a estratégias que tentam prever o futuro se baseando em padrões passados de variações de preço, não seria capaz de gerar retornos acima da média (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002).

Quanto à forma semiforte, Ross, Westerfield e Jaffe (2002) indicam que os testes de estudos de eventos e de desempenho de fundos mútuos, dois tipos de pesquisa frequentemente utilizados para testar a hipótese, apoiam a ideia de que o mercado é eficiente no sentido semiforte, e, por conseguinte, em sua forma fraca também. Destacam, entretanto, que há pontos de vista contrários, enumerando e descrevendo estudos que encontraram resultados não condizentes com a hipótese de mercados eficientes<sup>40</sup>.

Já em sua forma forte, a eficiência de mercado é avaliada examinando operações realizadas por *insiders*, agentes que têm acesso a informação que não está publicamente disponível. Ross, Westerfield e Jaffe (2002) indicam que estudos apoiam a conclusão de que transações desse tipo produzem retornos anormais e, portanto, as evidências existentes não consubstanciam a eficiência forte.

Bruni e Famá (1998) listam e descrevem alguns dos principais estudos sobre o tema. Na relação há pesquisas em diferentes mercados, incluindo o brasileiro, e com diferentes metodologias. Ao todo, são apontadas 28 publicações favoráveis à HME e 62 desfavoráveis<sup>41</sup>. Os autores concluem que (BRUNI; FAMÁ, 1998, p. 83):

Mesmo os indícios de eventuais ineficiências, encontrados através da aplicação de técnicas sofisticadas ou revelados sob a forma de anomalias, ainda não foram capazes de rejeitar a hipótese de que os mercados agem de forma eficiente.

Um mercado composto por agentes racionais está presente em trabalhos desenvolvidos por Modigliani, Markowitz, Miller, Sharpe, Lucas, Scholes e Merton - todos ganhadores de prêmios Nobel de Economia.

A hipótese de eficiência dos mercados foi e, provavelmente, continuará sendo importante fator no processo de evolução das Finanças, permitindo a produção de teorias empiricamente testáveis.

Camargos, Gomes e Barbosa (2003) fazem uma revisão e breve descrição de pesquisas publicadas sobre a eficiência informacional do mercado brasileiro. Ao todo são analisados os resultados de 24 estudos publicados entre 1973 e 2001, realizados com dados diários, semanais, mensais e trimestrais. Os autores resumem os achados da seguinte forma (CAMARGOS; GOMES; BARBOSA, 2003, p. 52):

Dessa amostra de 24 evidências empíricas sobre a eficiência do mercado de capitais brasileiro, [...], depreende-se que a maioria analisou a HEM em sua forma fraca (41,7%), com 10 pesquisas, das quais 7 a confirmaram e 3 a refutaram; seguida da forma semiforte (33,3%), com 8 pesquisas, das quais 2

<sup>40</sup> Destaca-se aqui a teoria das bolhas especulativas, segundo a qual “os preços de títulos às vezes variam enormemente em torno de seus valores corretos. Eventualmente, os preços retornam a seus níveis originais, causando grandes perdas para os investidores” (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002, p. 291).

<sup>41</sup> Cabe ressaltar que muitos dos estudos reportam as mesmas anomalias, como o efeito segunda-feira, efeito janeiro, associação entre retorno e tamanho da empresa, entre outras descritas por Bruni e Famá (1998).

a confirmaram e 6 a refutaram; anomalias (12,5%), com 3 pesquisas, todas encontrando padrões de comportamento que poderiam ser utilizados em estratégias de negociação que proporcionassem ganhos anormais; eficiência de forma geral (12,5%), com 3 pesquisas, das quais uma concluiu pela eficiência do mercado brasileiro e 2 não. Ou seja, das 24 pesquisas, 10 concluíram pela eficiência do mercado, enquanto 14 concluíram pela sua ineficiência.

Assim, para Camargos, Gomes e Barbosa (2003) as pesquisas fornecem indícios de que o mercado brasileiro apresenta eficiência fraca. Quanto à forma semiforte, os autores fazem as seguintes considerações (CAMARGOS; GOMES; BARBOSA, 2003, p. 52):

A confirmação de que o mercado evoluiu para a forma semiforte ainda carece de mais estudos, pois, conforme destaca FAMA (1970), cada teste individual dessa forma de eficiência está interessado na maneira pela qual os preços se ajustam a uma informação específica, gerada por um evento. Os testes trazem suporte parcial de evidência para o modelo de eficiência de mercado, uma vez que é pela acumulação de semelhante evidência que a validade do modelo é estabelecida.

Camargos, Gomes e Barbosa (2003, p. 52) sugerem que, com as transformações internas e externas<sup>42</sup> que ocorreram a partir dos anos 90, é “de se suspeitar que a eficiência do mercado de capitais brasileiro tenha melhorado, passando a apresentar a forma semiforte, justificando pesquisas que trabalhem com dados desse período”.

Camargos e Barbosa (2006) fazem uma análise de estudos empíricos sobre a eficiência semiforte no mercado brasileiro. De uma amostra com dez estudos, publicados entre 1988 e 2002, os autores apontam que duas pesquisas confirmam a hipótese de eficiência semiforte e oito refutam-na, o que indica que a confirmação de evolução para este tipo de eficiência é controversa e carece de mais estudos. Os autores, por meio de um estudo de eventos dos anúncios de fusões e aquisições de firmas negociadas na Bovespa, entre 1994 e 2002, investigam se o mercado de capitais brasileiro pós-Plano Real passou a apresentar a forma de eficiência informacional semiforte. Concluem que.(CAMARGOS; BARBOSA, 2006, p. 43):

[...] apesar dos avanços, informacionalmente o mercado de capitais brasileiro não se comportou de maneira eficiente no período analisado no que se refere à forma semiforte. O que, somado às outras pesquisas analisadas com outros eventos, traz suporte de evidência contrária ao modelo de eficiência de mercado para essa forma.

Campbell, Lo e Mackinlay (1997) ressaltam que apesar de as metodologias empíricas para testar a hipótese serem bem fundamentadas, há dificuldades em interpretar seus resultados.

<sup>42</sup> Entre essas transformações, Camargos, Gomes e Barbosa (2003, p. 52) citam a maior integração econômico-financeira, o enfraquecimento das fronteiras, a intensificação do comércio internacional, a relativa estabilidade da economia brasileira, as privatizações, o aumento na participação de investidores individuais e estrangeiros e uma maior transparência nas negociações.

Isso porque qualquer teste de eficiência deve presumir um modelo de equilíbrio que defina retornos normais para ativos. Se a eficiência é rejeitada, pode ser que realmente o mercado é ineficiente, ou que o modelo de equilíbrio assumido é incorreto. Assim, a HME em si não pode nunca ser rejeitada.

Dessa discussão, Campbell, Lo e Mackinlay (1997) defendem a noção de eficiência relativa, no sentido de medir a eficiência de um mercado comparando-o com outro, ao invés do conceito de eficiência absoluta adotada em boa parte da literatura tradicional sobre a hipótese.

Nessa vereda, em um estudo da eficiência do mercado de títulos de dívida soberana de países desenvolvidos e emergentes, Zunino et al. (2012) concluem que eficiência informacional está relacionada ao tamanho do mercado e desenvolvimento da economia. Mercados de países desenvolvidos tendem a ser mais eficientes do que os de emergentes, assim como mercados maiores mais eficientes que os menores.

Em linha com o tema proposto nesta pesquisa, de avaliar os impactos de novas tecnologias e formas de negociação no mercado, Evans (2006) testa a eficiência informacional em sua forma fraca de 3 contratos futuros negociados no Reino Unido e examina os impactos da introdução de um sistema de negociação eletrônico na eficiência. Utilizando três testes de aleatoriedade<sup>43</sup> para dados diários entre 1990 e 2002, os autores concluem que os três mercados são eficientes em sua forma fraca, e que, depois da automação, os mercados se mostraram mais eficientes.

### 2.6.1 Teoria da arbitragem

Como foi visto, a arbitragem é uma das principais estratégias utilizadas por HFTs e é colocada como uma das condições capazes de levar um mercado à eficiência. Mostra-se pertinente, dessa maneira, explorar a teoria da arbitragem.

Segundo Ross et al. (2015, p. 1158), arbitragem consiste em “Comprar um ativo em um mercado a um preço menor e vender simultaneamente um ativo idêntico em outro mercado a um preço maior”. Continuam os autores, nesse tipo de operação “O ganho é realizado sem riscos e com todos os custos já contabilizados”.

Assim, uma operação de arbitragem, teoricamente, não requer nenhum capital nem expõe o investidor a riscos (SHLEIFER; VISHNY, 1997).

---

<sup>43</sup> Teste de raiz unitária *ADF*, teste KPSS e teste de razão de variância de Lo e MacKinlay.

Shleifer e Vishny (1997) colocam arbitragem como um dos pontos centrais da análise de mercados de capitais, haja vista seu efeito de levar os preços de ativos a seus valores fundamentais e de manter os mercados eficientes.

Bruni e Famá (1998, p. 75) explicam os efeitos da arbitragem no mercado:

A arbitragem conduz ao equilíbrio dos preços. Ao vender um mesmo produto por um preço maior e comprá-lo por um preço menor, é exercida pressão sobre ambos os lados da oferta e da procura. O preço mais baixo subirá, o mais alto cairá até um preço de equilíbrio de consenso seja alcançado. A eficiência seria decorrente : para cada nova informação disponível, os ativos seriam comprados e vendidos, até que o consenso geral dos participantes levasse a um preço eficiente de equilíbrio.

A busca de oportunidades de arbitragem, conforme apontado por Bruni e Famá (1998), envolve o contínuo monitoramento de diferentes mercados, ativos e países. Os autores indicam que, devido ao grande número de arbitradores nos mercados e de operações efetuadas por estes, oportunidades de lucros anormais com a prática, quando existentes, costumam durar frações de segundos. Bruni e Famá (1998, p. 75) exemplificam apresentando a seguinte situação: “No ano de 1993, uma empresa japonesa gastou o equivalente a US\$ 35 milhões na aquisição de um supercomputador para poder ganhar dois segundos de vantagem nas operações de arbitragem de contratos futuros de ações na bolsa de Tóquio”.

Shleifer e Vishny (1997) alertam que mesmo os casos mais simples de arbitragem são bem mais complexos do que a definição sugere. Diferenças de horários de negociação, datas de liquidação e termos de entrega e alterações rápidas de preços podem expor o arbitrador a riscos e perdas. Dessa maneira, o modelo de arbitragem sem necessidade de capital não costuma se aplicar. Na realidade dos mercados de título e de ações, a maior parte das operações de arbitragem pode ser considerada arbitragem de risco. Essas operações podem requerer grandes quantidades de capital para executar as ordens e, caso necessário, cobrir as perdas. Além disso, a probabilidade de lucro é menor que um.

### **2.6.2 Caminho aleatório<sup>44</sup> (*random walk*)**

Conforme apontado por Bruni e Famá (1998), rumo ou caminho aleatório é uma das principais metodologias utilizadas para testar empiricamente a HME em sua forma fraca.

Caminho aleatório refere-se ao “Modelo estatístico em que as variações dia a dia no preço das ações são aleatórias; as variações são independentes umas das outras e têm a mesma

---

<sup>44</sup> Também chamado de rumo ou passeio aleatório.



distribuição de probabilidade” (ROSS et al., 2015, p. 1159). Conforme os autores, a eficiência de mercado em sua forma fraca é representada pela seguinte equação (ROSS et al., 2015, p. 465):

$$P_t = P_{t-1} + \text{Retorno esperado} + \text{Erro aleatório}_t$$

O preço em  $t$  é igual à soma do último preço observado e do retorno esperado da ação mais um componente aleatório no intervalo. O último preço depende do intervalo da amostra e o retorno esperado baseia-se em modelos de risco e retorno. Quanto ao componente aleatório, Ross et al. (2015, p. 465) colocam que este:

[...] deve-se à nova informação sobre a ação. Ele pode ser positivo ou negativo, e seu valor esperado é zero. O componente aleatório em qualquer período não está relacionado ao componente aleatório em qualquer período do passado. Por isso, esse componente não pode ser previsto baseado nos preços passados. Se o preço das ações seguir a Equação [...], diz-se que elas seguem um **caminho aleatório**.

No Capítulo que trata dos métodos de pesquisa são descritos dois testes frequentemente utilizados para testar se uma série de retornos é caracterizada como um processo de caminho aleatório, o teste das sequências para aleatoriedade e o teste de razão de variância. Tais testes são utilizados nesta pesquisa para avaliar a eficiência informacional do mercado brasileiro.

### 2.6.3 Estudos sobre eficiência de mercado com dados intradiários

Aqui são apresentados estudos que avaliaram a eficiência de mercado usando dados intradiários. Ressalta-se que as metodologias de razão de variância de teste de sequências (ou séries) para aleatoriedade, metodologias utilizadas nesta pesquisa, são explicadas com mais detalhes no Capítulo 3 – Métodos de Pesquisa.

Aldridge (2010), em um guia prático sobre algoritmos e sistemas de negociação, coloca que o primeiro passo para desenvolver uma estratégia HFT é identificar oportunidades de negócios lucrativos em dados de alta frequência. O investidor deve distinguir entre variações de preço aleatórias e previsíveis, e então agir nas previsíveis para gerar lucro. Ou seja, quanto mais ineficiente o mercado, mais oportunidades de negociação lucrativas aparecem. Nessa linha, a autora lista uma série de testes utilizados para avaliar a eficiência fraca de mercado.

No teste não-paramétrico de sequências para aleatoriedade<sup>45</sup>, a autora encontra fortes ineficiências para dados de 1 minuto em um dia de negociação. Tais ineficiências diminuem ou desaparecem quando a frequência testada é 10 minutos.

Como teste de caminho aleatório, Aldridge (2010) sugere primeiramente a razão de variância de Lo e Mackinlay (1988). Aqui Aldridge (2010) novamente conclui<sup>46</sup> que o número de oportunidades de arbitragem cresce com o aumento na frequência de dados. Também afirma, com base nesse teste, que o índice S&P 500 é menos eficiente que alguns mercados de moedas estrangeiras (frente ao dólar) analisados.

A autora ainda sugere testes auto-regressivos (*Autoregression-Based Tests*), testes baseados na hipótese de Martingale (*Martingale Hypothesis*) e testes baseados em cointegração (*Cointegration-Based Tests*) para avaliar a eficiência intradiária de mercado, porém sem apresentar resultados.

Aldridge (2010) afirma ainda que as estratégias de alta frequência são caracterizadas por um grande número de transações e uma baixa média de lucro por negócio. Gestores tradicionais mantêm suas posições por períodos mais longos, em comparação os investidores HFT executam múltiplos negócios por dia, com um lucro baixo por negócio, e mantêm poucas ou nenhuma posição de um dia para o outro.

Para Aldridge (2010), o HFT traz os seguintes benefícios para a sociedade: (i) maior eficiência de mercado; (ii) acrescenta liquidez; (iii) inovações em computação; (iv) estabilização dos sistemas de mercado. Segundo a autora, ao identificar e negociar ineficiências temporárias de mercado, o HFT leva informação aos preços de mercado mais rapidamente.

Vanstone e Hahn (2015), em estudo com objetivos semelhantes aos de Aldridge (2010), analisam a eficiência intradiária (para séries de 1, 5, 10, 15 e 60 minutos) do mercado de EURUSD, com testes em períodos anuais entre os anos de 2000 até 2013. No teste de razão de variância, os autores concluem que a eficiência do mercado diminui com o aumento da frequência da amostra. A eficiência é rejeitada para todos os testes com séries de dados de 1 e 5 minutos. Nessa linha, os autores afirmam que para, observações em frequências de 15 ou menos minutos, o mercado oferece oportunidades significativas de arbitragem. Os resultados mostram autocorrelação negativa entre os retornos para todas as frequências. Além disso, não há uma tendência de aumento de eficiência ao longo dos anos para nenhuma das frequências.

---

<sup>45</sup> Executado para um dia de negociação, 8 de junho de 2008.

<sup>46</sup> Teste robusto a heterocedasticidade efetuado para o período de 2 meses, compreendendo novembro e dezembro de 2008.

Em um segundo teste, das sequências para aleatoriedade, a eficiência é rejeitada para todos os anos e frequências. Os testes mostram que há mais sequências do que seria esperado, o que implica que há uma maior probabilidade de um retorno ser sucedido por um de sinal oposto. Assim, os resultados indicam um processo com reversão à média, o que segundo Vanstone e Hahn (2015) está em linha com o resultado do teste de razão de variância. Também não há evidência de aumento da eficiência ao longo do período.

Vanstone e Hahn (2015) utilizam ainda o teste de autocorrelação de Ljung-Box e encontram resultados consistentes com os encontrados nos outros dois testes.

Bollen e Inder (2002) aplicam o teste de razão de variância consistente para heterocedasticidade<sup>47</sup> proposto por Lo e Mackinlay (1988) para dados intradiários, nas frequências de 5 minutos e transação por transação, do S&P 500 Index Futures negociado na Chicago Mercantile Exchange. O teste é efetuado diariamente para o período entre janeiro de 1993 e dezembro de 1995, totalizando 755 dias de negociação. No artigo, os autores relatam a porcentagem de dias em que a hipótese de não haver autocorrelação é rejeitada para diferentes valores de  $q$ . Os autores afirmam que há fortes evidências de autocorrelação para os dados contendo cada transação, porém poucas evidências nas séries de retornos de 5 minutos.

Pontuschka e Perlin (2015) analisam o desempenho da estratégia de pares<sup>48</sup> em diferentes frequências de dados no mercado acionário brasileiro. Conforme colocam os pesquisadores, “Somente a possibilidade de capturar ineficiências na precificação dos ativos é o que permite a obtenção de lucros sistemáticos por meio de um método de negociação de ativos” (PONTUSCHKA; PERLIN, 2015, p. 189). A análise é feita para o período de janeiro de 2008 até dezembro de 2011 e são utilizados os 20 ativos com maior número de contratos negociados no período. As frequências de amostragem testadas são 1, 5, 15, 30 e 60 minutos e diária. Pontuschka e Perlin (2015, p. 189) concluem que “Os resultados da pesquisa confirmam a hipótese primária de que quanto maior a frequência de amostragem, maiores as evidências de ineficiência de mercado”<sup>49</sup>.

<sup>47</sup> Os autores afirmam que os retornos são caracterizados por heterocedasticidade.

<sup>48</sup> Segundo (PONTUSCHKA; PERLIN, 2015), “A estratégia de pares é considerada uma estratégia de arbitragem relativa, pois transaciona ativos equivalentes em um mesmo mercado, negociando dessa forma ineficiências temporárias na precificação desses ativos” (p. 190).

<sup>49</sup> Perlin (2009), ao avaliar a estratégia de pares no mercado brasileiro entre 2000 e 2006 para frequências diárias, semanais e mensais encontra resultado superiores para frequências maiores, e afirma que esse resultado é logicamente consistente pois o objetivo da estratégia de pares é aproveitar correções de mercado, e é esperado que tais ineficiências sejam mais frequentes em amostras com frequências maiores, nesse caso diárias.

Resultados e observações como os de Aldridge (2010), Vanstone e Hahn (2015), Bollen e Inder (2002) e Pontuschka e Perlin (2015) permitem construir a **Hipótese 6**: Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado.

Wang, Yu e Li (2010) testam a hipótese de caminho aleatório do índice Shanghai Stock Exchange Composite Index, com frequência de 5 minutos, para o período entre abril e outubro de 2001. Ao aplicarem o teste de razão de variância de Lo e Mackinlay (1988) robusto a heterocedasticidade, os pesquisadores rejeitam a hipótese de caminho aleatório para todos os valores<sup>50</sup> de  $q$  exceto 2, considerando um nível de significância de 5%. Assim, concluem que os retornos do mercado de Shanghai são até certo ponto previsíveis para frequências intradiárias.

Bianco e Renò (2006) utilizam o teste de razão de variância robusto a heterocedasticidade de Lo e Mackinlay (1988) para avaliar a autocorrelação dos retornos intradiários, em intervalos de 1 minuto, de um contrato futuro de um índice de ações italiano no período de 2000-2002. O teste é feito diariamente, e os pesquisadores reportam a porcentagem de dias em que a hipótese de caminho aleatório é rejeitada. Colocam que há evidência de autocorrelação negativa em alguns casos, porém atribuem tal resultado ao efeito *bid-ask bounce*. Dessa maneira, afirmam que a eficiência fraca do mercado italiano não pode ser descartada mesmo em uma frequência de observações de 1 minuto. Também encontram relação positiva entre a autocorrelação intradiária e volatilidade, em especial quanto ao componente não esperado da volatilidade. Coloca-se assim a **Hipótese 5**: Há uma relação positiva entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.

Reboredo, Matías e Garcia-Rubio (2012) usam dados de alta frequência do S&P 500 para testar a previsibilidade dos retornos intradiários (e, portanto, a eficiência intradiária). Os pesquisadores comparam uma série de modelos lineares e não lineares para prever os retornos em horizontes de 5, 10, 30 e 60 minutos. Os resultados empíricos apontam fraca evidência de previsibilidade considerando critérios estatísticos, porém corroboram a superioridade da previsibilidade de modelos não lineares usando critérios econômicos.

Litzenberger, Castura e Gorelick (2012)<sup>51</sup> utilizam o teste de razão de variância para dados de retorno em alta frequência para avaliar a evolução da eficiência de mercado com a presença de HFT. Na análise, é examinada a variância de retornos de observações de 1 segundo com a variância dos retornos de observações em intervalos de 10 segundos, para o período entre

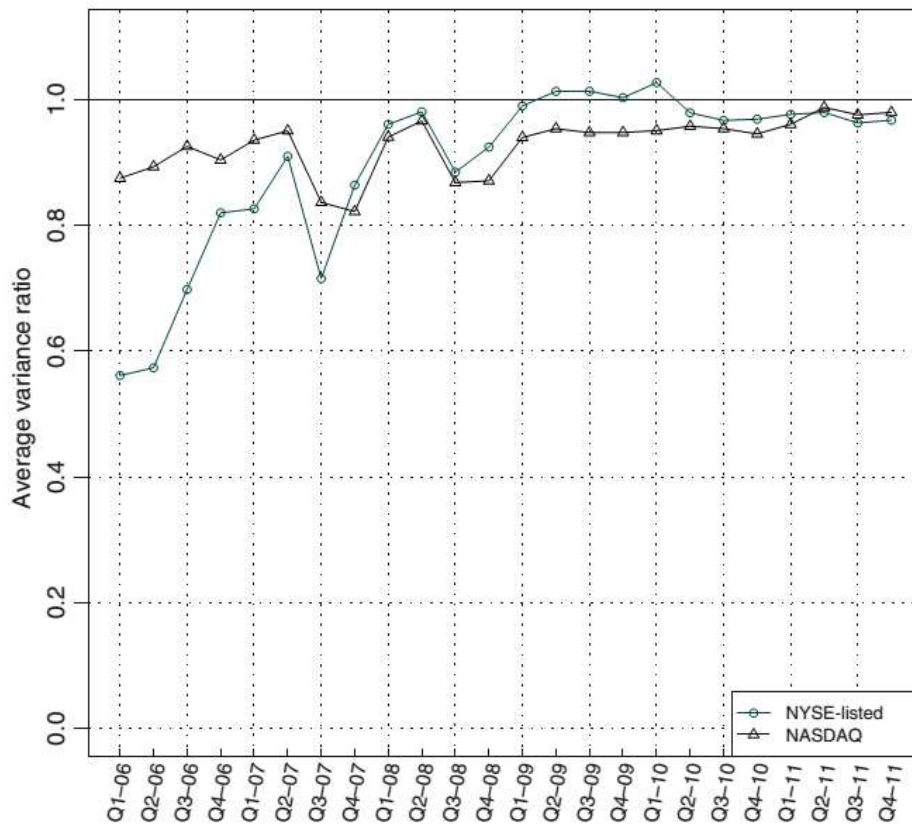
---

<sup>50</sup> Os valores de  $q$  testados foram 2, 4, 8, 16 e 32.

<sup>51</sup> Citando Castura et al. (2010), porém com dados atualizados.

de 6 anos entre 2006 e 2011. São testadas, individualmente, as ações que compõem os índices Russell 10000 e Russell 2000<sup>52</sup>. Os pesquisadores reportam a média da razão de variância das ações individuais, separando as ações que são negociadas na NYSE e na Nasdaq. Conforme apresentado no Gráfico 4, a média da razão de variância em ambas as listagens se aproxima de 1 ao longo da série<sup>53</sup>, o que significa que os mercados se tornaram mais eficientes. Litzenberger, Castura e Gorelick (2012) colocam que o maior ganho em qualidade de mercado da NYSE se deve à transição para uma estrutura de negociação mais automatizada e competitiva<sup>54</sup>.

Gráfico 4 – Média da razão de variância (10 segundos/1 segundo) de ações listadas na NYSE e NASDAQ no período entre 2006 e 2011



FONTE: Litzenberger, Castura e Gorelick (2012, p. 80)

Além disso, Litzenberger, Castura e Gorelick (2012) apontam que as ações de maior capitalização têm maior eficiência que as de pequena ou média, e também que as primeiras

<sup>52</sup> No estudo, os primeiros e os últimos 10 minutos de cada dia de negociação são omitidos para prevenir que as atividades de abertura e encerramento influenciassem os resultados.

<sup>53</sup> Como observado em Litzenberger, Castura e Gorelick (2012), as ações individuais tendem a ter razão de variância (e a média dessas razões de variância) menor que 1, o que significa autocorrelação negativa. Foi identificado desde o artigo original que propôs o teste de razão de variância, Lo e Mackinlay (1988), que quando analisadas individualmente, as ações tendem a ter autocorrelação negativa, porém quando são analisados índices, estes tendem a ter autocorrelação positiva. Lo e Mackinlay (1988) também alertam que retornos de ações individuais possuem muitas informações específicas das companhias, ou idiossincráticas, o que torna difícil detectar a presença de elementos previsíveis.

<sup>54</sup> Os pesquisadores afirmam que na NASDAQ, HFT estava ativo no período inteiro, ao passo que na NYSE estavam menos ativos inicialmente, mas cresceram até representarem uma grande participação do volume total.

tiveram maior ganho em eficiência do que as últimas. Os resultados foram consistentes para outras frequências de observação intradiárias. Litzenberger, Castura e Gorelick (2012, p. 80) colocam, assim que:

Esses resultados sugerem que o impacto combinado da adoção de plataformas eletrônicas de negociação de baixa latência, o aumento na competição entre ambientes de negociação, e o aumento da participação de HFT contribuíram para melhorias na eficiência de mercado e diminuíram os impactos transitórios nos preços de grandes transações.

Litzenberger, Castura e Gorelick (2012), observando que a razão de variância é significativamente menor que 1 no começo da série e não significativamente menor que 1 ao seu final, sugerem, sem testar empiricamente, uma diminuição da importância de erros transitórios de preço e que as negociações HFT podem ter correlação negativa com o componente de preço transitório e positiva com mudanças futuras no componente permanente do preço. Implicam com esse argumento que pode haver uma relação causal entre o ganho em eficiência observado nas ações listadas na NYSE e o HFT.

Brogaard, Hendershott e Riordan (2014) exploram tal relação utilizando para isso base de dados disponibilizada pela Nasdaq contendo informações sobre cada operação, com identificação das que envolvem investidores HFT. Os pesquisadores concluem que, em geral, HFTs facilitam o processo de descoberta de preço ao negociar na direção de mudanças permanentes de preço e na direção oposta a erros transitórios de preço<sup>55</sup>, tanto em dias de alta quanto em dias de média volatilidade.

Bank e Baumann (2016) aplicam uma metodologia de estudo de evento para frequências ultracurtas (segundo por segundo) em ações alemãs para avaliar como os mercados modernos reagem a novas informações. Os pesquisadores concluem que os preços se ajustam praticamente instantaneamente, e acreditam que parte significativa dos resultados encontrados pode ser atribuída aos HFTs. Segundo os pesquisadores, o aumento na velocidade das negociações tem um efeito benéfico no processo de descoberta de preços e na qualidade do mercado.

Os seguintes fatores embasam a definição das hipóteses listadas aqui, que serão testadas empiricamente: (i) resultados como os de Litzenberger, Castura e Gorelick (2012), Bank e Baumann (2016) e Brogaard, Hendershott e Riordan (2014); (ii) a natureza das operações em alta frequência, que exploram ineficiências em curtíssimo prazo e têm na arbitragem uma de suas principais estratégias; (iii) crescimento dessas no mercado nacional, conforme apontado

---

<sup>55</sup> Referidos como volatilidade transitória ou “barulho”.

no Gráfico 3, e diminuição das receitas de HFTs no mercado americano, conforme Figura 3; e (iv) comentários de Aldridge (2010) sobre os impactos da atuação de tal tipo de investidor na eficiência mercado.

**Hipótese 3:** O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.

**Hipótese 4:** Existe relação entre o ganho de eficiência e a introdução do HFT.

**Hipótese 7:** Os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores.





### 3 Método de pesquisa

Apresentado o referencial teórico e algumas das principais pesquisas sobre o tema, este capítulo estabelece o método de pesquisa. O presente estudo trata-se de um estudo quantitativo de caráter descritivo com o objetivo de avaliar a eficiência informacional utilizando dados de alta frequência do índice Bovespa. O objetivo principal é analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional no mercado de capitais brasileiro.

Aqui são apresentados os contextos metodológicos da pesquisa, as hipóteses formuladas, como foram realizadas a coleta e a análise de dados e os principais testes empregados que possibilitaram que o estudo atingisse seus objetivos.

#### 3.1 Contextos metodológicos da pesquisa

Gil (2008, p. 26) define pesquisa “como o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico”, cujo objetivo é descobrir respostas para problemas mediante a adoção de procedimentos científicos. O procedimento empregado em uma pesquisa deve ser sistemático, controlado e crítico para que este constitua-se no caminho para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais (MARCONI; LAKATOS, 2010).

O planejamento para realizar uma pesquisa deve englobar todos os passos necessários para o desenvolvimento de um trabalho de pesquisa, a saber: (i) seleção do tópico ou problema para a investigação; (ii) definição e diferenciação do problema; (iii) levantamento de hipóteses de trabalho; (iv) coleta, sistematização e classificação dos dados; (v) análise e interpretação dos dados; e (vi) relatório do resultado da pesquisa (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Conforme Gil (2008), é possível agrupar as mais diversas pesquisas em certo número de grupamentos amplos. A classificação mais adotada atualmente separa as pesquisas em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

O presente estudo se configura como uma pesquisa descritiva. Para Gil (2008, p. 28), “As pesquisas deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis”<sup>56</sup>.

---

<sup>56</sup> Variável é definida por Gil (2008, p. 42) como “qualquer coisa que pode ser classificada em duas ou mais categorias”. O autor deixa claro também que tal conceito provém da matemática e é de natureza quantitativa. As variáveis podem ser classificadas em duas categorias, contínuas, que são aquelas cujos valores podem ser fracionados, e discretas, que são aquelas que se apresentam sob a forma de números inteiros.

A abordagem utilizada será a quantitativa. Boa parte do que se chama de ciência moderna e de método científico originou-se dos pensamentos e estudos de René Descartes e Galileo Galilei. Para estes pensadores, o método tem importância crucial na ciência moderna e é necessário para obtenção de conhecimentos seguros, certos, verdadeiros, e, por serem verdadeiros, universais. Surge assim o ideal da quantificação e da objetividade na ciência (FONSECA, 1996). Neste contexto, Auguste Comte postula o positivismo.

Hayati, Karami e Slee (2006) *apud* Terence e Escrivão Filho (2006, p. 1 e 2):

Nas ciências sociais, os estudos orientados pela doutrina positivista são influenciados inicialmente pela abordagem das ciências naturais, que postulam a existência de uma realidade externa que pode ser examinada com objetividade, pelo estabelecimento de relações causa-efeito, a partir da aplicação de métodos quantitativos de investigação, que permitem chegar a verdades universais. Sob esta ótica os resultados da pesquisa são reprodutíveis e generalizáveis.

Ainda segundo o positivismo, a lógica e a matemática seriam válidas por estabelecerem as regras da linguagem, representando um conhecimento *a priori*, independente da experiência (TERENCE; ESCRIVÃO FILHO, 2006).

Segundo Saunders, Lewis e Thornhill (2009) estudos quantitativos são baseados em significados derivados de números. A coleta de dados quantitativos resulta em dados numéricos e padronizados e a análise de dados quantitativos é conduzida com o uso de diagramas e estatística.

Para Gil (2008, p. 15), os métodos que indicam os meios técnicos da investigação:

[...] têm por objetivo proporcionar ao investigador os meios técnicos para garantir a objetividade e a precisão no estudo dos fatos sociais. Mais especificamente, visam fornecer a orientação necessária à realização da pesquisa social, sobretudo no referente à obtenção, processamento e validação dos dados pertinentes à problemática que está sendo investigada.

[...] Os métodos específicos mais adotados nas ciências sociais são: o experimental, o observacional, o comparativo, o estatístico, o clínico e o monográfico.

O autor ressalta que com frequência dois ou mais métodos são utilizados conjuntamente. Nesta pesquisa predomina a utilização do método estatístico, que segundo Gil (2008, p. 17) “fundamenta-se na aplicação da teoria estatística da probabilidade”. O autor complementa que “Mediante a utilização de testes estatísticos, torna-se possível determinar, em termos numéricos, a probabilidade de acerto de determinada conclusão, bem como a margem de erro de um valor obtido”. Além disso, afirma que os conhecimentos obtidos em alguns campos da economia devem-se fundamentalmente à utilização de tal método.

### 3.2 Hipóteses formuladas

Marconi e Lakatos (2010) definem hipótese como um enunciado geral de relações entre variáveis formulado como solução provisória para um determinado problema. Para as autoras, uma hipótese deve apresentar caráter explicativo ou preditivo, ser compatível com o conhecimento científico, possuir consistência lógica e ser passível de verificação empírica em suas consequências. Assim, a hipótese constitui-se como “uma suposta, provável e provisória resposta a um problema, cuja adequação (comprovação = sustentabilidade ou validade) será verificada através da pesquisa [...]” (MARCONI; LAKATOS, 2010, p. 110).

Para Gil (2008) o papel principal da hipótese é sugerir explicações para os fatos, sugestões estas que podem ser a solução para o problema de pesquisa. O autor define três tipos de hipóteses, as casuísticas, as que se referem à frequência de acontecimentos e as que estabelecem relações entre variáveis. Nesta pesquisa, as hipóteses centrais buscam relacionar a introdução de novas tecnologias e formas de negociação à eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro.

O primeiro par de hipóteses está relacionado ao objetivo específico “e”. Busca-se caracterizar o mercado de ações brasileiro de acordo com o volume negociado e número de transações. As hipóteses formuladas são apresentadas da seguinte forma:

**Hipótese 1:** O número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado.

**Hipótese 2:** O aumento no número de negociações e diminuição no valor por operação é mais acentuado entre as ações mais líquidas.

A terceira hipótese, relacionada ao objetivo “f”, diz respeito à eficiência informacional fraca do mercado de capitais brasileiro, aqui representado pelo índice Bovespa, e será avaliada com a aplicação de diferentes testes de rumo aleatório (*random walk*).

**Hipótese 3:** O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.

A quarta hipótese retoma o objetivo “f” e busca relacionar a evolução da eficiência de mercado com o crescimento do número de transações e da participação do HFT no mercado.

**Hipótese 4:** Existe relação entre o ganho de eficiência e a introdução do HFT.

A quinta hipótese, conforme objetivo “g”, avalia a relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.

**Hipótese 5:** Há uma relação positiva entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.

As hipóteses 6 e 7 ponderam a questão da eficiência informacional para dados coletados em diferentes frequências, conforme foi definido no objetivo “h”.

**Hipótese 6:** Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado.

**Hipótese 7:** Os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores.

Cabe ressaltar que, para a análise estatística dos dados coletados, as hipóteses anteriores foram subdivididas em outras, relativas às diferentes técnicas e testes econométricos empregados.

### 3.3 Coleta dos dados

Esta seção aponta os tipos de dados que serão coletados e os procedimentos adotados no processo de coleta.

Para Manzo (1971) *apud* Marconi e Lakatos (2010), a bibliografia do assunto oferece meios para explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente e permite reforçar a análise da pesquisa. Não visa ser uma mera repetição do que foi publicado sobre o tema, mas sim um exame para chegar em conclusões inovadoras.

Tranfield et al (2003) relatam que conduzir uma revisão literária é uma parte importante de qualquer projeto de pesquisa. Segundo os autores, para conduzi-la o pesquisador deve mapear e avaliar o território intelectual relevante para dessa maneira especificar uma questão de pesquisa que expandirá a base de conhecimento.

Assim, a primeira etapa desse estudo consistiu em uma pesquisa bibliográfica, que permitiu atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Apresentar definições de HFT e as principais estratégias adotadas.
- b) Descrever o ambiente de negociação e como novas tecnologias foram incorporados à estrutura do mercado.

Os objetivos “c” e “d” foram atendidos seguindo protocolo apresentado no Quadro 5. Iniciou-se o processo de coleta com busca em indexadores disponíveis no Portal de Periódicos da Capes. Posteriormente, foram aplicados filtros para exibição apenas de artigos revisados por pares. Os 16 artigos mais acessados, com texto completo disponível, foram selecionados para análise. A etapa de análise incluiu a análise do conteúdo dos artigos, descrição e a identificação de tópicos abordando os impactos de HFT no mercado.

Quadro 5 - Protocolo de revisão sistemática da literatura em HFT

Etapa	Operacionalização
(1) Atender aos objetivos “c” e “d”	c) Analisar os impactos avaliados por pesquisas prévias d) Identificar riscos e maneiras para mitigá-los
(2) Busca ou amostragem da literatura	Busca no Portal de Periódicos da Capes, que reúne uma série de indexadores com periódicos de alto impacto.
	Período: 2009 a 2014
	String de busca: "High-frequency trading"
	Filtros: qualquer campo, idioma inglês
	Resultados: 1.543
	Novo filtro: Periódicos revisados por pares; tipo de recurso: Artigos
	Resultados: 298
(3) Coleta de dados	Indexadores com maior número de resultados: Scopus (Elsevier); OneFile - GALE; SciVerse ScienceDirect – Elsevier; Wiley Online Library; Oxford Journals - Oxford University Press
	Periódicos mais recorrentes: Journal of Financial Markets, Financial Review
	Ordenar por mais acessados
(4) Análise crítica dos estudos incluídos	Número final de artigos: 16 artigos mais acessados, com texto completo disponível
	Leitura prévia para identificação do tema pelo autor.
(5) Discussão dos resultados; e	Análise do conteúdo dos artigos, com ênfase nas análises relativas aos objetivos propostos e métricas de qualidade de mercado
(6) apresentação da revisão	Síntese dos resultados com a utilização de mapa conceitual.

Fonte: Elaboração própria

No caso de artigos que apontavam para referências externas relevantes em seu texto, buscou-se também analisar as referências que aprofundam ou ampliam a discussão dos tópicos. A partir do protocolo descrito no Quadro 5, foi elaborado o mapa conceitual apresentado na Figura 4 que sintetiza as estratégias e impactos conforme analisado pela literatura. Os resultados relativos aos objetivos específicos “a”, “b”, “c” e “d” são relatados ao longo do capítulo que trata do Referencial teórico.

Tais análises permitiram o aprofundamento no tema e a definição dos objetivos “e”, “f”, “g” e “h”, assim como a construção das hipóteses apresentadas neste mesmo capítulo.

Para a análise quantitativa, foi obtido junto à fornecedora de informações de mercado Tradezone o histórico intradiário do índice Bovespa, com frequências a partir de 1 minuto, para o período do primeiro dia de negociação de 2007 até o último dia de negociação de 2015. Os dados são ajustados para eventos societários (dividendos, juros, desdobramentos, agrupamentos, bonificações, entre outros).

As informações de número de negócios, volume de negócios e liquidez tanto para o conjunto de ações negociadas na BM&FBovespa quanto para o índice Bovespa foram obtidas no sistema Economatica.

As informações sobre participação de *co-location* e HFT em relação ao mercado total foram disponibilizadas pela BM&FBovespa.

### 3.4 Análise dos dados

Os dados obtidos foram analisados nos aplicativos Stata/MP 13.0 e Microsoft Excel. Os testes foram executados para diferentes períodos e frequências para que se pudesse comparar a evolução dos resultados entre os anos de 2007 até 2015.

Foi utilizada a função *lomackinlay* disponível para o Stata/MP 13.0, escrita por Baum (2007). Tal função computa o teste de razão de variância com sobreposição para séries de tempo. Foi utilizada a opção de teste robusto a heterocedasticidade. Outra função utilizada foi *runtest*, para computar o teste das sequências para aleatoriedade. Além dos testes especificados aqui, utiliza-se análise de correlação e regressão linear MQO.

A seguir são descritos os testes utilizados para avaliar a aleatoriedade dos retornos.

#### 3.4.1 Testes de rumo aleatório (*Random Walk*)

Testes estatísticos utilizados para determinar se uma amostra é caracterizada como rumo aleatório podem ser classificados em duas categorias, paramétricos e não paramétricos, de acordo com as prerrogativas assumidas acerca da distribuição das observações. Triola (2013, p. 534) distingue testes paramétricos de não paramétricos da seguinte maneira:

**Testes paramétricos** têm requisitos sobre a natureza ou a forma das populações envolvidas; **testes não paramétricos** não exigem que as amostras venham de populações com distribuições normais ou qualquer outra distribuição particular. Conseqüentemente, testes de hipótese não paramétricos são, em geral, chamados de **testes livres de distribuição**.

Triola (2013) lista as seguintes vantagens dos métodos não paramétricos:

1. Aplicam-se a uma grande variedade de situações porque não possuem as exigências mais rígidas dos métodos paramétricos correspondentes. Não exigem, por exemplo, populações normalmente distribuídas.
2. Podem, em geral, ser aplicados a dados categóricos.

Entre as desvantagens dos métodos não paramétricos, Triola (2013) destaca:

1. Tendem a desperdiçar informação porque os dados numéricos são, em geral, reduzidos a uma forma qualitativa.

2. Não são tão eficientes quanto os paramétricos. Com os testes não paramétricos é necessária, em geral, evidência mais forte (como amostra maior ou diferenças maiores) para rejeitar a hipótese nula.

Ainda comparando os dois tipos de testes, Triola (2013, p.534) coloca que:

Quando as exigências sobre as distribuições populacionais são satisfeitas, os testes não paramétricos são, em geral, menos eficientes do que seus correspondentes paramétricos, mas a redução da eficiência pode ser compensada por um tamanho maior da amostra.

Utiliza-se no estudo proposto um teste não paramétrico (teste de sequências para aleatoriedade) e um teste paramétrico (teste de razão de variância) para analisar a aleatoriedade das observações.

### **Teste de Sequências para Aleatoriedade (*Run Test*)**

O teste de sequências para aleatoriedade<sup>57</sup>, do inglês *run test*, é um teste não paramétrico que possibilita testar a aleatoriedade das observações de uma variável contando quantas sequências ocorrem acima ou abaixo de um limiar (que pode ser a média, mediana ou valor definido arbitrariamente para o teste) (STATA, [s.d.]). Segundo Triola (2013, p. 565), “Uma **sequência** é uma sucessão de dados que têm a mesma característica; a sequência é seguida e precedida por dados com uma característica diferente ou por nenhum dado”.

Uma variável com autocorrelação positiva tende a se manter em patamares acima ou abaixo do limiar por várias observações seguidas, apresentando, portanto, poucas sequências. Por outro lado, uma variável com autocorrelação negativa tem poucas sequências, pois tende a apresentar observações acima do limiar seguidas de observações abaixo deste, e vice-versa (STATA, [s.d.]). Assim, uma quantidade muito grande ou pequena de sequências indica que a variável não é aleatória.

Triola (2013) coloca dois requisitos para aplicação do teste. Primeiro, os dados devem estar arranjados com algum esquema de ordem. Nesta pesquisa os dados são ordenados por data e minuto, da ocorrência mais antiga para a mais nova. Segundo, cada valor amostral deve poder ser categorizado em duas categorias separadas. Classificam-se os retornos em duas categorias, retornos positivos e retornos não positivos (negativos ou nulos).

---

<sup>57</sup> Também chamado de teste das séries para aleatoriedade.

O objetivo da aplicação do teste de sequências para aleatoriedade consiste na análise da eficiência fraca do mercado de capitais brasileiro, tendo como base os retornos do índice Bovespa. A hipótese nula do teste estabelece que os dados ocorrem em sequência aleatória. Assim, são testadas estatisticamente as seguintes hipóteses:

$H_0$  Os retornos do índice Bovespa seguem um passeio aleatório

$H_1$  Os retornos do índice Bovespa não seguem um passeio aleatório

Para efetuar o teste, calcula-se o número de observações abaixo (ou igual) o limiar ( $n_0$ ), o número de observações acima do limiar ( $n_1$ ), o número total de observações ( $N = n_0 + n_1$ ) e o número de sequências ( $r$ ). Define-se aqui  $n_0$  como número de retornos nulos ou negativos e  $n_1$  como o número de retornos positivos.

O número esperado de séries e a variância são definidos por (STATA, [s.d.]):

$$\mu_r = \frac{2n_0n_1}{N} + 1 \quad \text{[Equação 1]}$$

$$\sigma_r^2 = \frac{2n_0n_1(2n_0n_1 - N)}{N^2(N-1)} \quad \text{[Equação 2]}$$

A aproximação normal da estatística do teste é dada por:

$$\hat{z} = \frac{r - \mu_r}{\sigma_r} \quad \text{[Equação 3]}$$

### Teste de Razão de Variância (*Variance Ratio*)

A hipótese de mercados eficientes em sua forma fraca estabelece que não é possível prever preços futuros com base em preços históricos. Conforme Rosenthal (1983), se um mercado é eficiente em sua forma fraca, então não deve existir dependência linear entre retornos defasados tanto no sentido estatístico (ausência de autocorrelação) quanto no sentido econômico (inexistência de retornos positivos depois de considerados os custos de transação).

Para testar a hipótese de rumo aleatório, utiliza-se a metodologia de razão de variância proposta por Lo e Mackinlay (1988)<sup>58</sup> para avaliação de autocorrelação entre séries de retornos. Tal metodologia pode ser classificada como um teste paramétrico.

---

<sup>58</sup> No artigo, os pesquisadores testam a hipótese de caminho aleatório utilizando a metodologia robusta a heterocedasticidade para retornos semanais de índices e portfólios, rejeitando a hipótese de caminho aleatório. Os valores de  $q$  testados são 2, 4, 8 e 16.



Definindo  $P_t$  como o preço de um ativo em  $t$  e  $X_t$  como o logaritmo natural de  $P_t$ , a hipótese de rumo aleatório é dada por:

$$X_t = \mu + X_{t-1} + \epsilon_t \quad [\text{Equação 4}]$$

Onde  $\mu$  é um parâmetro de movimento arbitrário e  $\epsilon_t$  é o termo de erro aleatório. Os autores expõem que uma característica importante do processo de rumo aleatório é que a variância dos incrementos cresce linearmente de acordo com o intervalo de observação. Ou seja, a variância de  $X_t - X_{t-2}$  é o dobro da variância de  $X_t - X_{t-1}$ . Assim, a validade de um modelo de rumo aleatório pode ser testada comparando estimadores de variância dos retornos em diferentes frequências. Por exemplo, a variância de séries de retornos semanais deve ser cinco vezes maior do que a variância de retornos diários. O modelo consiste em testar se a razão da variância para diferentes intervalos ponderados pela duração destes é igual a um.

A variância de uma série  $q$ -diferenciada ( $X_t - X_{t-q}$ ) será  $q$  vezes a variância da série da primeira diferenciação ( $X_t - X_{t-1}$ ).

O teste da razão de variância é feito de acordo com o estimador consistente a heterocedasticidade<sup>59</sup> definido por Lo e Mackinlay (1988). Em uma amostra com  $nq + 1$  observações, onde  $q$  é um número inteiro maior que 1, definem-se os seguintes estimadores:

$$\hat{\mu} \equiv \frac{1}{nq} \sum_{k=1}^{nq} (X_k - X_{k-1}) = \frac{1}{nq} (X_{nq} - X_0) \quad [\text{Equação 5}]$$

$$\bar{\sigma}_a^2 \equiv \frac{1}{nq} \sum_{k=1}^{nq} (X_k - X_{k-1} - \hat{\mu})^2 \quad [\text{Equação 6}]$$

$$\bar{\sigma}_c^2(q) \equiv \frac{1}{m} \sum_{k=1}^n (X_{qk} - X_{qk-q} - q\hat{\mu})^2 \quad [\text{Equação 7}]$$

Onde:

$$m = q(nq - q + 1) \left(1 - \frac{q}{nq}\right) \quad [\text{Equação 8}]$$

---

<sup>59</sup> Conforme Lo e Mackinlay (1988), há um consenso entre economistas financeiros de que as volatilidades se alteram ao longo do tempo em séries de retornos de ativos financeiros. Dessa maneira, além de um modelo que considera incrementos homocedásticos, os pesquisadores apresentam o modelo aqui utilizado, robusto a alterações nas variâncias. Tal modelo permite formas bastante gerais de heterocedasticidade. Também permite relaxar as exigências de incrementos gaussianos, o que é importante pois, ainda de acordo com os autores, é bem documentado que séries de retornos de ações costumam apresentar desvios de normalidade.

A razão da variância<sup>60</sup> é dada por:

$$\widehat{VR}(q) = \frac{\bar{\sigma}_\varepsilon^2(q)}{\bar{\sigma}_a^2} \quad [\text{Equação 9}]$$

A estatística de teste robusta a heterocedasticidade<sup>61</sup>, uma característica inerente a séries de retornos de ativos financeiros, é definida por:

$$z^*(q) = \frac{\sqrt{nq}(\widehat{VR}(q)-1)}{\sqrt{\hat{\phi}(q)}} \quad [\text{Equação 10}]$$

Onde:

$$\hat{\phi}(q) = \sum_{j=1}^{q-1} \left[ \frac{2(q-j)}{q} \right]^2 \hat{\delta}(j) \quad [\text{Equação 11}]$$

$$\hat{\delta}(j) = \frac{\sum_{t=j+1}^{nq} (X_t - X_{t-1} - \hat{\mu})^2 (X_{t-j} - X_{t-j-1} - \hat{\mu})^2}{\sum_{t=j+1}^{nq} (X_t - X_{t-1} - \hat{\mu})^2} \quad [\text{Equação 12}]$$

Conforme colocado por Bianco e Renò (2006), que utilizam a mesma metodologia para séries de retornos intradiários com frequência de observação de 1 minuto, o teste aqui implementado permite heterocedasticidade, não requer suposição de normalidade e em pequenas amostras é mais poderoso que outros testes, como estatísticas de Ljung-Box ou teste de raiz unitária de Dickey-Fuller.

O Quadro 6 apresenta uma visão geral do estudo e a interação entre o problema de pesquisa, objetivo geral, objetivos específicos, hipóteses, dados coletados e técnicas de análise dos dados.

<sup>60</sup> A notação aqui utilizada difere da original de Lo e Mackinlay (1988).

<sup>61</sup> Também chamada de razão de variância padronizada ao longo do presente estudo.

Quadro 6 – Plano de análise de dados

Problema de pesquisa	Objetivo geral	Objetivos específicos	Hipóteses definidas	Dados coletados	Técnicas de análise de dados
Quais os impactos da introdução do HFT no mercado de capitais brasileiro?	Analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro.	a) Apresentar definições de HFT e as principais estratégias adotadas b) Descrever o ambiente de negociação e como novas tecnologias foram incorporados à estrutura do mercado	-	Pesquisa bibliográfica (resultados apresentados no referencial teórico)	
		c) Analisar os impactos avaliados por pesquisas prévias. d) Identificar riscos e maneiras para mitigá-los.	-	Pesquisa bibliográfica e revisão sistemática apresentada no Quadro 5 (resultados apresentados no referencial teórico)	
		e) Caracterizar o mercado brasileiro quanto ao número de negócios, volume transacionado e volume por negócio, e verificar se há correlação entre essas variáveis e a adoção do HFT e do collocation.	<p><b>Hipótese 1:</b> O número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado.</p> <p><b>Hipótese 2:</b> O aumento no número de negociações e diminuição no valor por operação é mais acentuado entre as ações mais líquidas.</p>	<p>-Número de negócios (Economatica)</p> <p>-Volume de negócios (Economatica)</p> <p>-Participação de HFT no segmento Bovespa (BM&amp;FBovespa)</p> <p>-Participação de collocation no segmento Bovespa (BM&amp;FBovespa)</p>	<p>-Elaboração de gráficos</p> <p>-Análise de correlação</p>

Problema de pesquisa	Objetivo geral	Objetivos específicos	Hipóteses definidas	Dados coletados	Técnicas de análise de dados
Quais os impactos da introdução do HFT no mercado de capitais brasileiro?	Analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro.	f) Verificar se o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente em sua forma fraca nos últimos anos e se há alguma relação com a presença de HFT.	<b>Hipótese 3:</b> O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.	- Séries de preços intradiários do índice Bovespa, na frequência de 1 minuto (Tradezone)	- Teste das sequências para aleatoriedade - Teste de razão de variância
			<b>Hipótese 4:</b> Existe relação entre o ganho de eficiência e a introdução do HFT.	- Razão de variância (calculado próprio) - Participação de HFT no segmento Bovespa (BM&FBovespa) - Número de transações envolvendo ações do índice Bovespa (Economática)	- Regressão linear MQO com teste de Ljung-Box nos resíduos
		g) Verificar se há relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade no mercado brasileiro.	<b>Hipótese 5:</b> Há uma relação positiva entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.	- Razão de variância (calculado próprio) - Volatilidade mensal para retornos em frequências de 1 minuto (calculado próprio)	- Regressão linear MQO com teste de Ljung-Box nos resíduos
		h) Comparar a eficiência informacional do mercado nacional em diferentes frequências de observação dos dados.	<b>Hipótese 6:</b> Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado. <b>Hipótese 7:</b> Os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores.	- Séries de preços intradiários e diários do índice Bovespa (Tradezone)	- Teste de razão de variância

Fonte: Elaboração própria.

## 4 Resultados

Neste capítulo é feita a análise das hipóteses e são reportados os resultados dos testes efetuados. Parte-se do objetivo geral da pesquisa: Analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro. O índice Bovespa foi analisado sob o ponto de vista do conceito de eficiência informacional, com avaliação de seu comportamento como um processo caracterizado como caminho aleatório. Além disso, foi feita a associação entre tal eficiência e a adoção do HFT no mercado.

De acordo com objetivos específicos aqui tratados, do “e” ao “h”, este capítulo foi subdividido em três partes.

A primeira parte contempla a análise do número de transações e volume negociado, conforme o seguinte objetivo:

e) Caracterizar o mercado brasileiro quanto ao número de negócios, volume transacionado e volume por negócio, e verificar se há correlação entre essas variáveis e a adoção do HFT e do *co-location*.

A segunda parte analisa a eficiência informacional fraca para dados intradiários do índice Bovespa, na frequência de 1 minuto, e as propriedades das séries de autocorrelação obtidas anteriormente no que tange à volatilidade e número de transações, conforme os seguintes objetivos:

f) Verificar se o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente em sua forma fraca nos últimos anos e se há alguma relação com a presença de HFT.

g) Verificar se há relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade no mercado brasileiro.

A terceira parte contempla a eficiência informacional do mercado em diferentes frequências de observação. Tal análise visa atender ao objetivo: h) Comparar a eficiência informacional do mercado nacional em diferentes frequências de observação dos dados.

### 4.1 Análise do número de transações e volume negociado

Como foi visto, o HFT é caracterizado, entre outros fatores, pelo grande número de ordens, giro rápido das carteiras, margens pequenas por negociação e foco em ativos de alta liquidez. Busca-se, nesse contexto, avaliar a evolução do número de transações, volume

negociado e volume por negócio no mercado brasileiro, e como essas variáveis estão correlacionadas com a adoção e o crescimento do HFT e do *co-location* no mercado nacional.

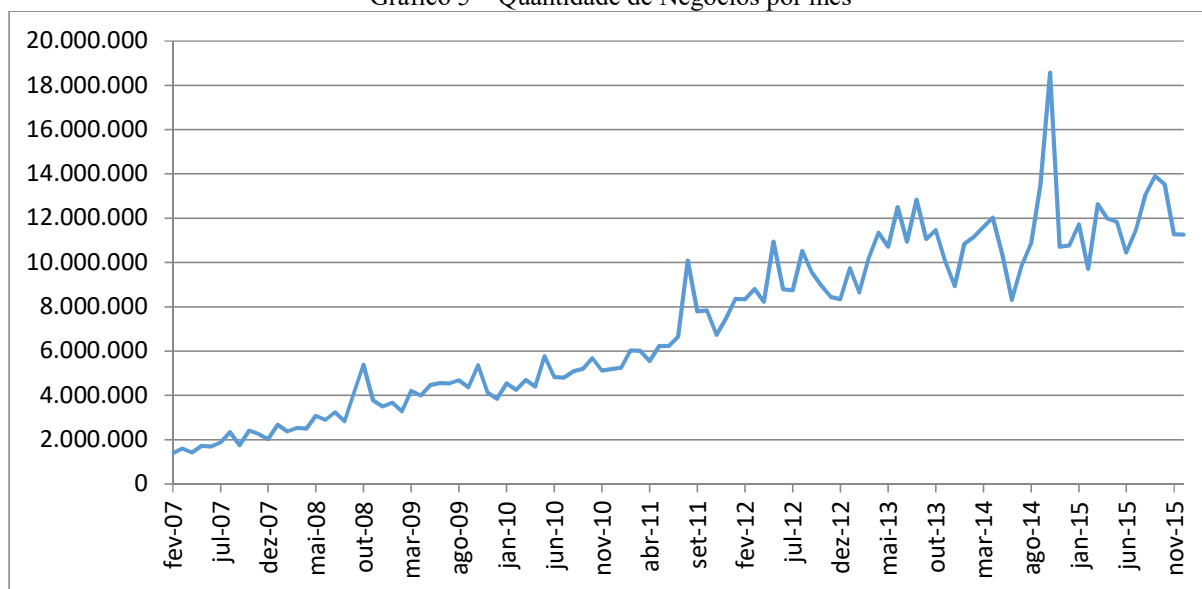
A análise do número de transações e volume negociado das ações negociadas no mercado de capitais brasileiro foi realizada com base em duas hipóteses. A primeira hipótese foi definida da seguinte forma:

**Hipótese 1:** O número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado.

Para poder efetuar a análise da relação entre a adoção do HFT, volume negociado e número de transações foram coletados o número de transações e o volume total negociado mensalmente de todas as ações negociadas na Bovespa entre fevereiro de 2007 e dezembro de 2015, perfazendo 107 meses de dados coletados. No período considerado 562 ações foram negociadas em pelo menos um pregão.

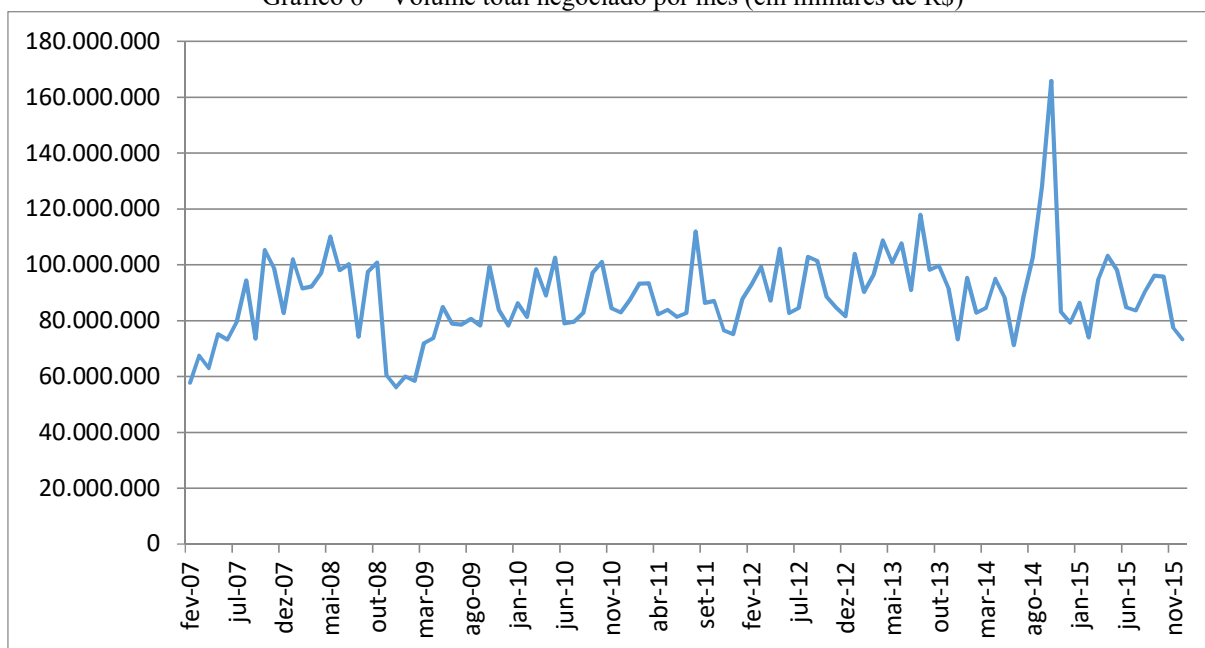
A quantidade de negócios por mês, somando todas as ações negociadas em cada mês, é apresentada no Gráfico 5. Para o período como um todo, a média é de aproximadamente 7,2 milhões de negócios por mês. O Gráfico 6 mostra a evolução do volume total negociado por mês em milhares de reais. A média do volume total negociado mensalmente entre todas as ações é de aproximadamente 88 bilhões de reais.

Gráfico 5 – Quantidade de Negócios por mês



Fonte: Elaboração própria. Dados Economatica.

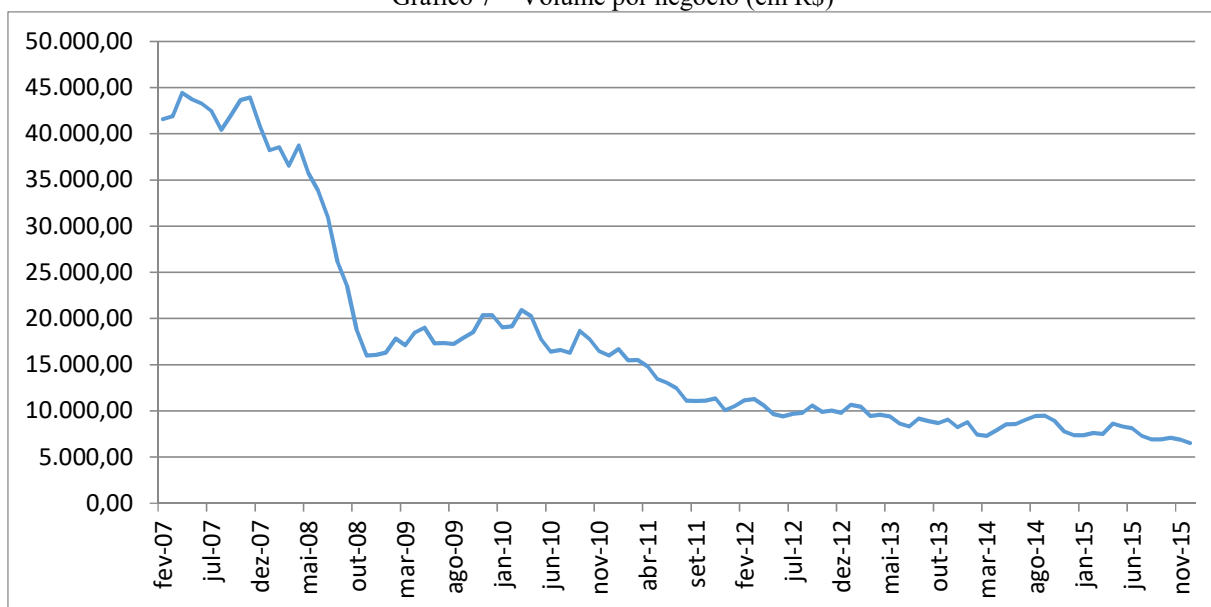
Gráfico 6 – Volume total negociado por mês (em milhares de R\$)



Fonte: Elaboração própria. Dados Economatica.

Nota-se um aumento gradual do número de negócios mês a mês, porém sem correspondente aumento do volume negociado, que se mantém próximo à faixa entre 80 e 100 bilhões de reais na maioria dos meses. O Gráfico 7 relaciona as duas variáveis, apresentando o volume negociado por transação em cada mês.

Gráfico 7 – Volume por negócio (em R\$)



Fonte: Elaboração própria. Dados Economatica.

Na seção 2.3.1 foram apresentados os dados de participação dos investidores de alta frequência no volume financeiro mensal entre novembro de 2010 e novembro de 2013, fornecidos pela BM&FBovespa. Ressalta-se que a partir de dezembro de 2013 as estatísticas de

HFTs deixaram de ser divulgadas. Também foram apresentados os dados de participação de *co-location* no volume financeiro e número de negócios mensais a partir de setembro de 2010.

A Tabela 1 mostra a correlação entre HFT, *Co-location* e as variáveis apresentadas anteriormente. A análise é feita para os períodos com dados informados pela BM&FBovespa. Os resultados indicam que há forte correlação entre participação de HFT/*Co-location* e as variáveis quantidade de negócios e volume por negócio, positiva para a primeira variável e negativa para a segunda, sendo essas correlações significativas a um nível de significância de 1%.

Tabela 1 - Correlações

	HFT (% do Volume Financeiro)	Co-location (% do Volume Financeiro)	Co-location (% do Número de Negócios)
Quantidade de negócios	0,7961* (0,00)	0,8802* (0,00)	0,8601* (0,00)
Volume Negociado	0,3873 (0,02)	0,1869 (0,14)	0,1598 (0,21)
Volume por negócio	-0,8487* (0,00)	-0,9015* (0,00)	-0,9306* (0,00)
Observações	37	64	64

p-valor apresentado entre parênteses. \*p < 0,01

Fonte: Elaboração própria.

Valida-se assim a Hipótese 1, ou seja, há evidências de que o número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado. Conforme Aldridge (2010), Gomber et al. (2011) e U.S. SEC (2010), as estratégias HFT estão associadas a um grande número de operações.

A segunda hipótese foi testada com a mesma base de dados. Conforme Gomber et al. (2011), há por parte dos HFTs foco em instrumentos de alta liquidez. Ainda no intuito de caracterizar o mercado, busca-se avaliar se:

**Hipótese 2:** O aumento no número de negociações e diminuição no valor por operação é mais acentuado entre as ações mais líquidas.

Para avaliar tal hipótese, as ações, quando negociadas pelo menos uma vez, foram ordenadas e classificadas em quintis de acordo com sua liquidez<sup>62</sup> em cada mês. Assim, o

<sup>62</sup> O indicador liquidez em bolsa é calculado pelo sistema Economatica de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Liquidez em bolsa} = 100 * p/P * \sqrt{(n/N * v/V)}$$

Onde:

p = número de dias em que houve pelo menos um negócio com a ação dentro do período escolhido

P = número total de dias do período escolhido

n = número negócios com a ação dentro do período escolhido

N = número de negócios com todas as ações dentro do período escolhido

v = volume em dinheiro com a ação dentro do período escolhido

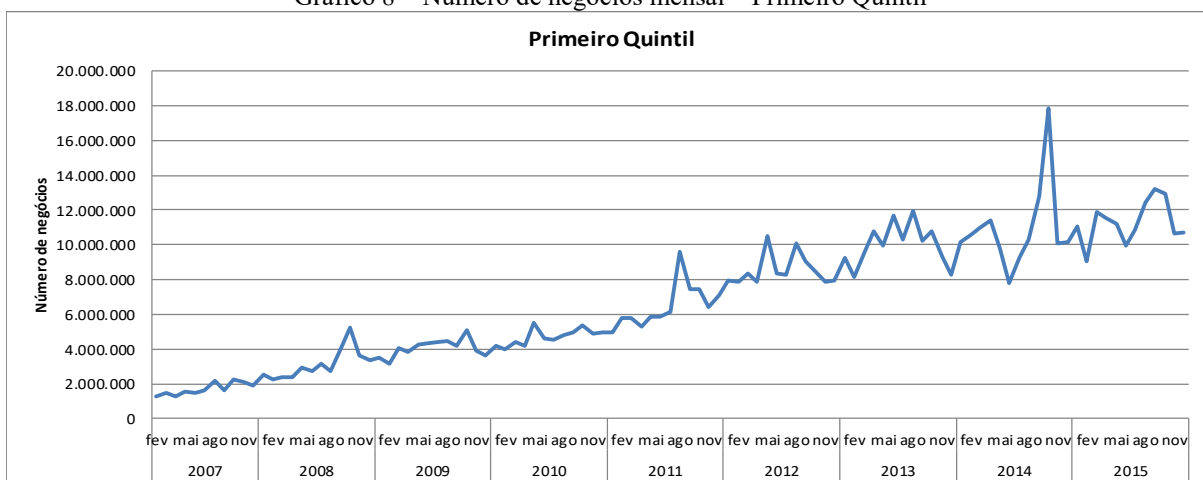
V = volume em dinheiro com todas as ações dentro do período escolhido



primeiro quintil consiste em uma amostra com os 20% de ações mais líquidas no mês, o segundo quintil contempla os próximos 20% de ações mais líquidas, e assim sucessivamente.

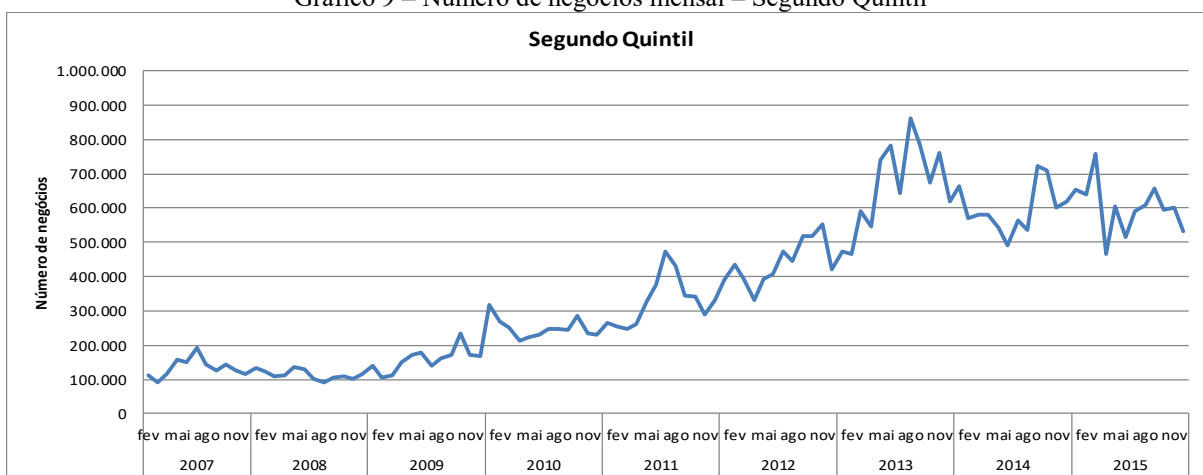
Os gráficos a seguir apresentam o número de negócios mensal em cada quintil, somando todas as ações que o compõem. Nota-se que o aumento no número de transações ocorreu apenas no primeiro e segundo quintil, ou seja, entre as ações mais líquidas.

Gráfico 8 – Número de negócios mensal – Primeiro Quintil



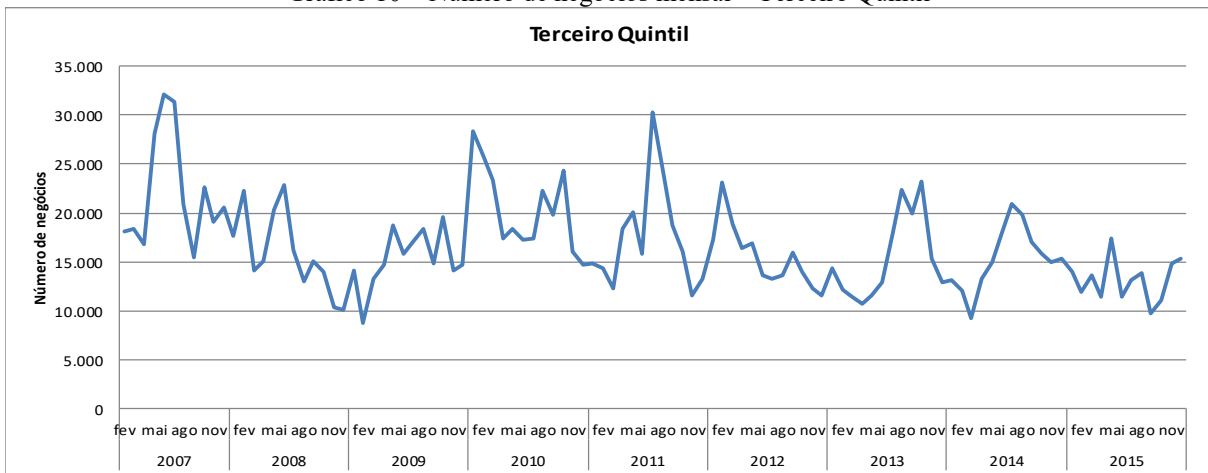
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 9 – Número de negócios mensal – Segundo Quintil



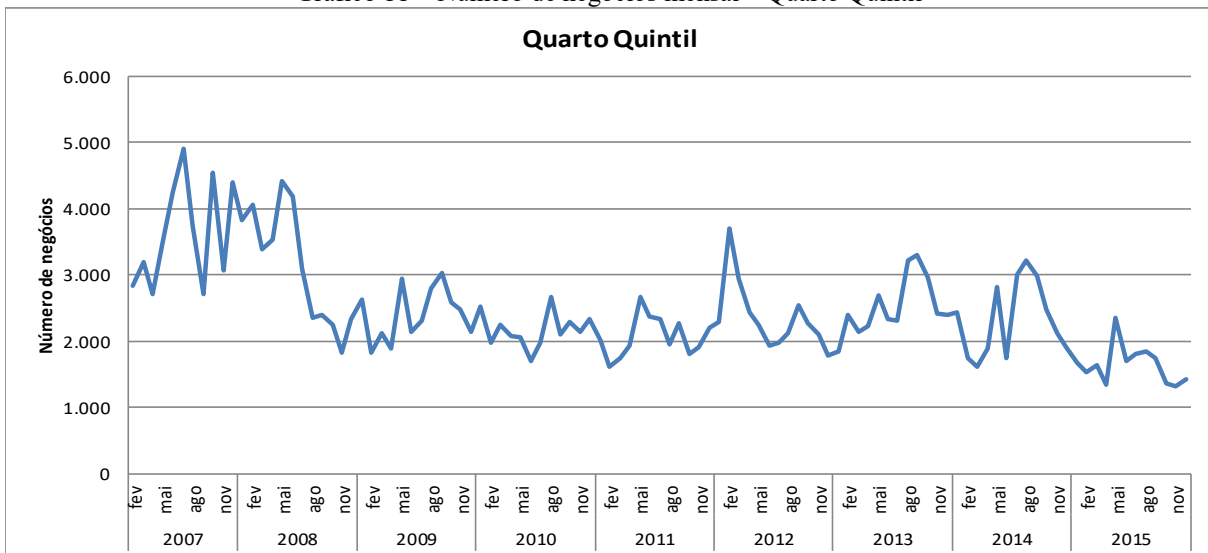
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 10 – Número de negócios mensal – Terceiro Quintil



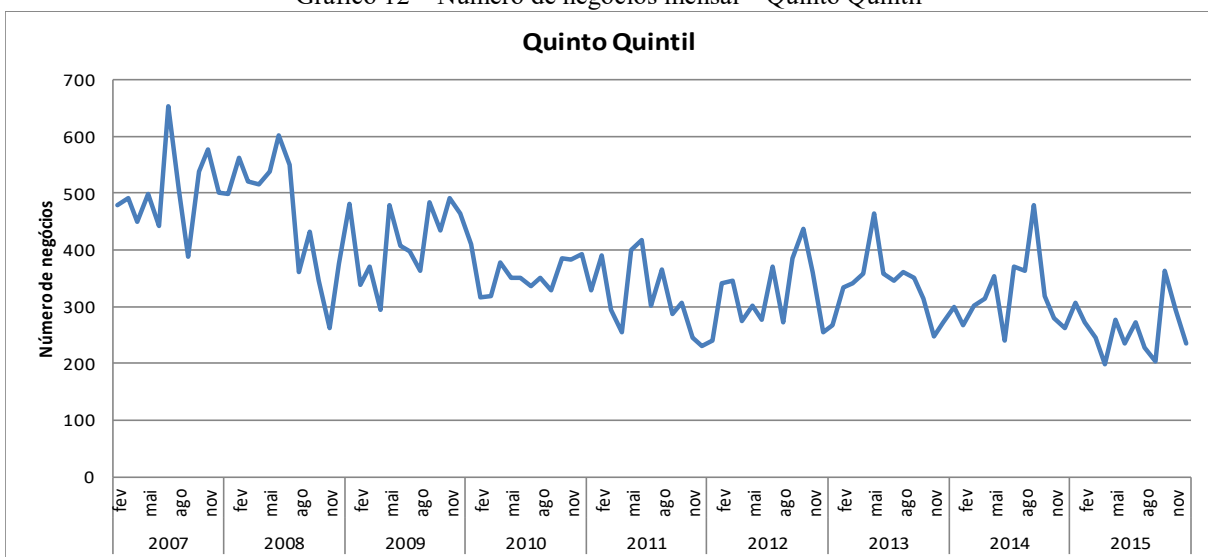
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 11 – Número de negócios mensal – Quarto Quintil



Fonte: Elaboração própria.

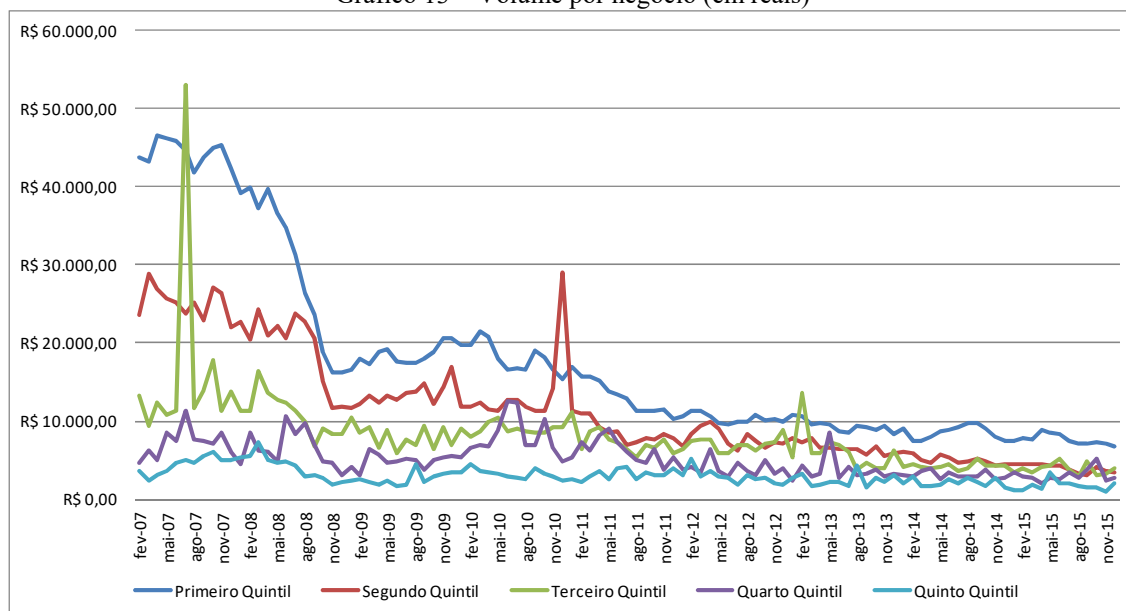
Gráfico 12 – Número de negócios mensal – Quinto Quintil



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 13 apresenta a média de volume por negócio em cada quintil por mês. Observa-se uma diminuição mais acentuada no primeiro e no segundo quintil. A análise indica que o aumento no número de negociações e a diminuição no valor por operação são mais acentuados entre as ações mais líquidas, validando a Hipótese 2.

Gráfico 13 – Volume por negócio (em reais)



Fonte: Elaboração própria.

A análise e os resultados das hipóteses 1 e 2 estão em sintonia com a literatura sobre HFT, que indica um aumento significativo do número de operações devido às estratégias adotadas por esse tipo de investidor e a concentração destes em mercados e ativos mais líquidos.

Um ponto colocado na literatura como aspecto positivo do HFT é a maior liquidez oferecida ao mercado, capaz de reduzir o *bid-ask spread* (THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE, 2012). A análise da hipótese 2 indica que, pela forma de atuação dos HFTs, tal liquidez deve se concentrar apenas entre os ativos mais líquidos, e não no mercado como um todo.

Logrou-se assim caracterizar o mercado secundário brasileiro quanto ao número de transações e volume negociado nessa era de alta frequência.

#### 4.2 Análise da eficiência informacional para dados em alta frequência

Para avaliar as hipóteses 3, 4 e 5 deste estudo, analisa-se a questão da eficiência fraca no mercado de capitais utilizando dados intradiários do índice Bovespa, com frequência de 1 minuto.

Como definido na referencial teórico, em um mercado eficiente as informações relevantes seriam prontamente refletidas nos preços. Segundo a HME, dados históricos não permitem prever o comportamento futuro dos preços, que seriam caracterizados por um processo de rumo aleatório.

A Hipótese 3 foi definida como:

**Hipótese 3:** O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.

Para testá-la, é necessário avaliar o grau de eficiência informacional ao longo do período proposto. O conceito de eficiência informacional é operacionalizado com testes de rumo aleatório. Assim, a hipótese nula e a alternativa definidas a seguir são testadas em diferentes períodos com a utilização das metodologias de teste de rumo aleatório descritas no capítulo que aborda Métodos de Pesquisa:

$H_0$  - Os retornos do Índice Bovespa **seguem** um passeio aleatório;

$H_1$  - Os retornos do Índice Bovespa **não seguem** um passeio aleatório.

#### 4.2.1 Teste das sequências para aleatoriedade

O rumo aleatório do Índice Bovespa foi testado, em um primeiro momento, mediante o emprego do teste não paramétrico de aleatoriedade para sequências. A análise foi efetuada para intervalos de observação de 1 minuto entre os retornos para cada dia de pregão no período entre 2007 e 2015, totalizando 2.223 dias. Em média, há aproximadamente 416 observações para cada dia de negociação.

A avaliação foi feita gerando os valores descritos na metodologia e o *p-valor* foi utilizado para testar a hipótese. Para cada dia de negociação, foi testada estatisticamente a seguinte hipótese:

$H_0$  - Os retornos do Índice Bovespa no dia **seguem** um passeio aleatório;

$H_1$  - Os retornos do Índice Bovespa no dia **não seguem** um passeio aleatório.

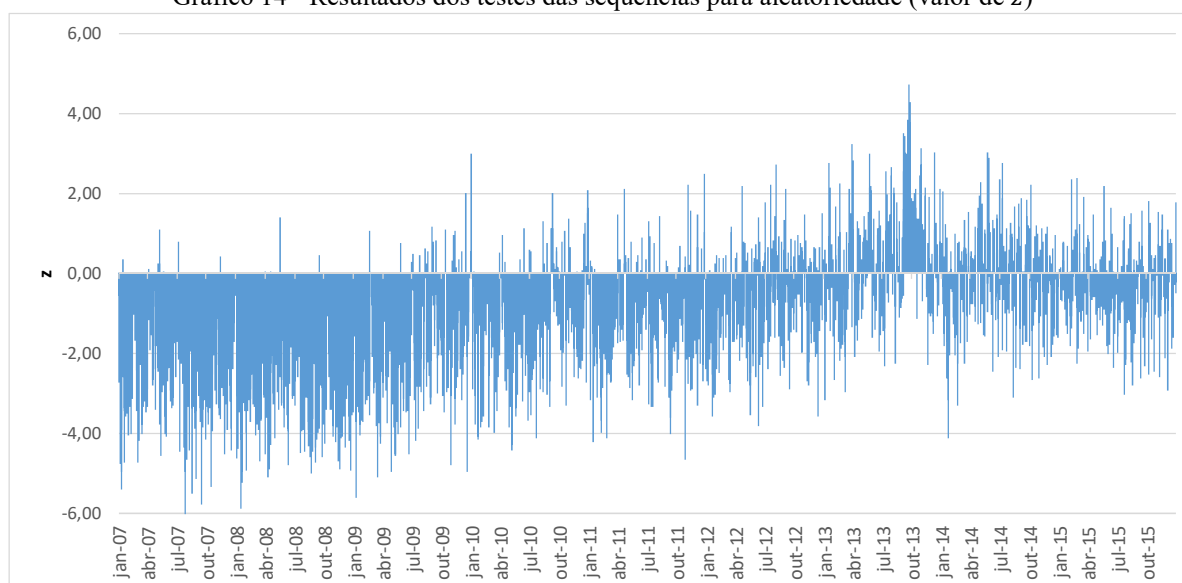
A Tabela 2 sintetiza os resultados. Nela é reportada a porcentagem de dias em que a hipótese nula foi rejeitada em cada ano, para os níveis de significância ( $\alpha$ ) usualmente utilizados. Nota-se para todos os níveis de significância uma diminuição dos dias em que a hipótese nula é rejeitada. Tal resultado indica que no final do período os retornos se comportam conforme esperado em um processo de caminho aleatório.

Tabela 2 - Resultados dos testes das sequências para aleatoriedade

Ano	$\alpha$			Dias
	0,1	0,05	0,01	
2007	70,9%	62,3%	43,9%	244
2008	80,7%	74,3%	57,4%	249
2009	60,6%	53,7%	31,7%	246
2010	38,9%	29,6%	16,6%	247
2011	35,7%	27,7%	13,3%	249
2012	25,2%	17,9%	7,7%	246
2013	24,6%	19,0%	8,5%	248
2014	18,5%	10,9%	4,0%	248
2015	13,0%	7,7%	2,0%	246
<b>Total geral</b>	<b>40,9%</b>	<b>33,6%</b>	<b>20,6%</b>	<b>2223</b>

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 14 apresenta a evolução da estatística do teste diária ( $\hat{z}$ ) durante o período analisado. Percebe-se que no início do período o valor de  $\hat{z}$  concentra-se em valores negativos, o que significa que o número de sequências é menor do que o esperado se os dados fossem aleatórios. Como visto anteriormente, esse resultado indica autocorrelações positivas, ou seja, um retorno positivo tende a ser sucedido por outro retorno positivo, e um retorno negativo ou nulo tende a ser sucedido por outro negativo ou nulo. No final da série valores extremos se tornam menos comuns e não há uma tendência clara entre valores positivos e negativos para  $\hat{z}$ , o que indica que os retornos são mais aleatórios. Percebe-se também uma concentração de valores positivos no final de 2013, o que indica autocorrelação negativa nesse período.

Gráfico 14 - Resultados dos testes das sequências para aleatoriedade (valor de  $\hat{z}$ )

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.2 Teste de razão de variância

A autocorrelação foi testada também com base no teste de razão de variância proposto por Lo e Mackinlay (1988). A hipótese nula do teste estabelece que a razão de variância é igual a um, o que significa que os valores analisados não possuem autocorrelação na defasagem  $q$ . Valores maiores que um indicam autocorrelação positiva, e valores menores que um indicam autocorrelação negativa.

Os testes foram realizados diariamente para retornos em frequência de 1 minuto do Índice Bovespa<sup>63</sup>. Seguindo a metodologia proposta originalmente por Lo e Mackinlay (1988), os valores de  $q$  escolhidos foram 2, 4, 8 e 16<sup>64</sup>. O teste aqui realizado é bicaudal, portanto são rejeitados tanto valores que indicam autocorrelação positiva quanto negativa. As tabelas a seguir apresentam a porcentagem de dias em que a hipótese nula foi rejeitada para cada nível de significância e valor de  $q$ . Observa-se, assim como no teste de sequências para aleatoriedade, a redução do número de dias em que a hipótese nula é rejeitada ao longo dos anos. Tal porcentagem se aproxima dos níveis de significância adotados ( $\alpha$ )<sup>65</sup>.

---

<sup>63</sup> Cabe salientar que em testes preliminares de distribuição das observações, como esperado em séries de retornos de ativos financeiros, em nenhum período os retornos seguem uma distribuição normal. O mesmo foi observado para todas as frequências testadas.

<sup>64</sup> Conforme colocam Deo e Richardson (2003) *apud* Bianco e Renò (2006), a confiabilidade da aproximação assintótica é pior quando  $q$  aumenta, mas a aproximação funciona bem para  $q$  pequeno. Ainda, que o teste de razão de variância perde poder a um nível de confiança de 95% quando se utiliza valores de  $q/n \sim 1/6$ . No caso aqui testado, cada dia tem aproximadamente 416 observações, portanto  $q$  deve ser menor que 70.

Bianco e Renò (2006), que utilizam o mesmo teste aqui proposto para frequência de 1 minuto, alertam, entretanto, que a heterocedasticidade de dados intradiários é mais acentuada que em dados diários. Sendo assim, sugerem, junto com simulações de modelos especificados com metodologia GARCH para valores até  $q = 30$ , que para valores  $q \leq 20$  a distribuição das estatísticas da razão de variância é aproximadamente normal, sendo distorcida para valores maiores de  $q$ . Nesse sentido, os pesquisadores optam por utilizar três valores de  $q$ : 1, 10 e 20. Concluem que “Para esses valores de  $q$ , pode-se usar seguramente o teste de razão de variância com dados de alta frequência nesse contexto” (BIANCO; RENÒ, 2006, p. 67, tradução nossa).

<sup>65</sup> Probabilidade de rejeitar a hipótese nula sendo ela verdadeira (erro do tipo I)

Tabela 3 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,1$ )

Ano	$\alpha = 0,1$			
	q(2)	q(4)	q(8)	q(16)
2007	77,9%	82,8%	82,8%	84,8%
2008	73,9%	80,3%	72,3%	74,7%
2009	66,3%	67,1%	61,8%	67,1%
2010	52,6%	55,5%	47,8%	53,4%
2011	35,3%	37,8%	32,1%	41,0%
2012	24,0%	22,4%	18,7%	26,0%
2013	34,3%	29,8%	27,0%	24,2%
2014	17,7%	16,1%	12,1%	12,5%
2015	12,6%	11,4%	11,8%	19,9%
<b>Total Geral</b>	<b>43,8%</b>	<b>44,8%</b>	<b>40,7%</b>	<b>44,8%</b>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,05$ )

Ano	$\alpha = 0,05$			
	q(2)	q(4)	q(8)	q(16)
2007	72,5%	78,3%	73,0%	79,9%
2008	67,1%	75,1%	66,7%	67,1%
2009	59,3%	59,3%	55,7%	58,9%
2010	43,7%	45,7%	40,5%	44,5%
2011	27,3%	28,1%	21,3%	30,5%
2012	16,7%	15,4%	11,0%	21,1%
2013	30,2%	25,8%	23,0%	20,2%
2014	11,3%	9,7%	7,3%	9,3%
2015	5,7%	6,5%	5,3%	14,6%
<b>Total Geral</b>	<b>37,1%</b>	<b>38,2%</b>	<b>33,7%</b>	<b>38,4%</b>

Fonte: Elaboração própria.

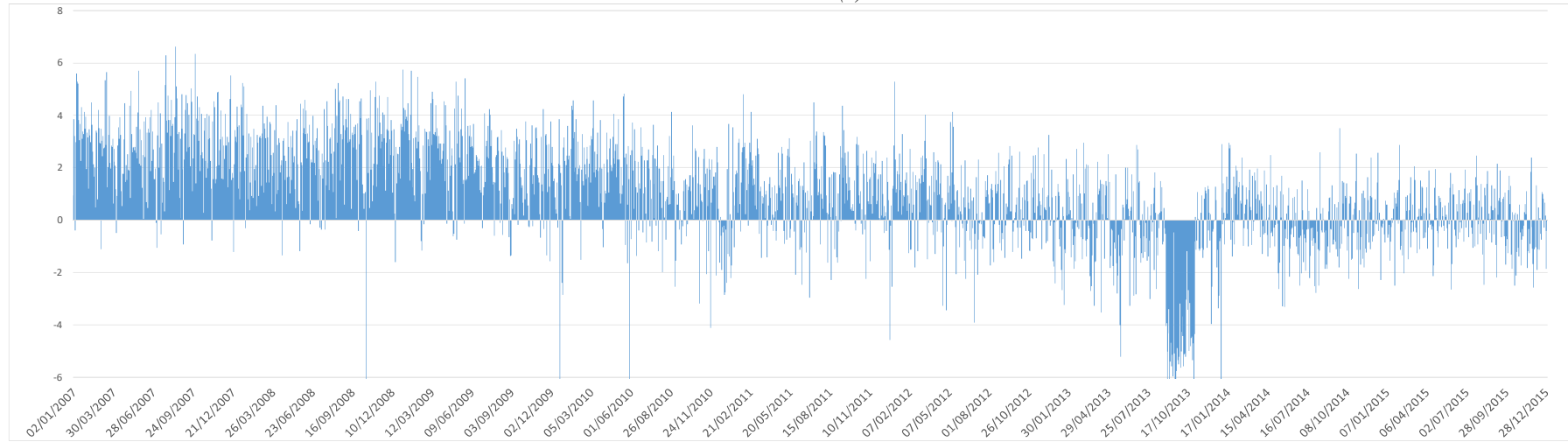
Tabela 5 - Resultados dos testes de razão de variância ( $\alpha=0,01$ )

Ano	$\alpha = 0,01$			
	q(2)	q(4)	q(8)	q(16)
2007	58,6%	65,2%	58,2%	64,8%
2008	53,4%	59,8%	52,6%	52,6%
2009	43,1%	49,2%	41,9%	46,7%
2010	21,9%	27,9%	24,7%	30,0%
2011	14,5%	15,3%	12,4%	19,7%
2012	6,9%	7,3%	5,7%	11,0%
2013	25,0%	21,4%	17,3%	11,7%
2014	4,8%	4,4%	2,0%	5,2%
2015	0,8%	0,8%	0,8%	8,1%
<b>Total Geral</b>	<b>25,4%</b>	<b>27,9%</b>	<b>23,9%</b>	<b>27,7%</b>

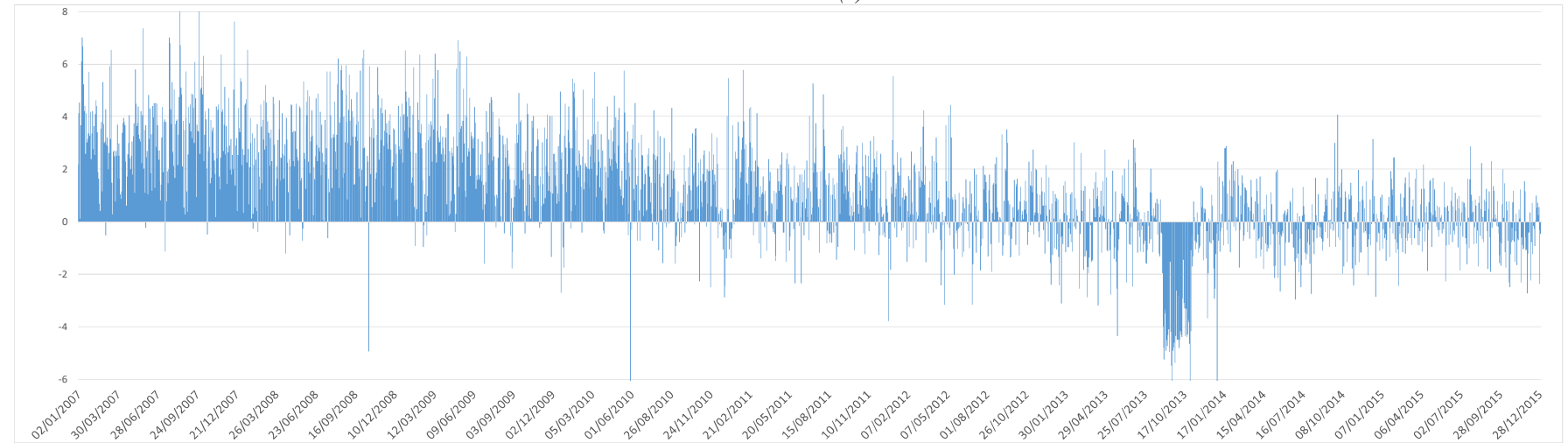
Fonte: Elaboração própria.

Os gráficos a seguir reportam as estatísticas do teste  $z^*(q)$  para os diferentes valores de  $q$  testados. Ao contrário da razão de variância, onde a linha de corte é igual a um, na estatística do teste valores positivos indicam autocorrelação positiva, valores negativos indicam autocorrelação negativa e valores próximos a zero indicam ausência de autocorrelação (aleatoriedade). Percebem-se as mesmas tendências identificadas no teste das sequências para aleatoriedade.



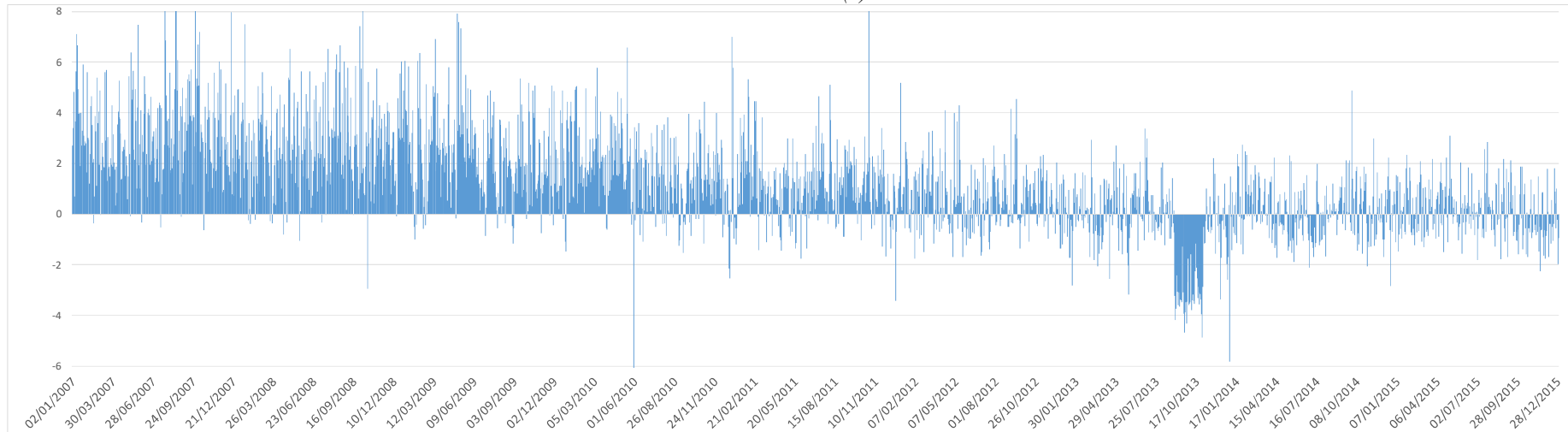
Gráfico 15 - Estatísticas do teste  $z^*(2)$  da razão de variância

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 16 - Estatísticas do teste  $z^*(4)$  da razão de variância

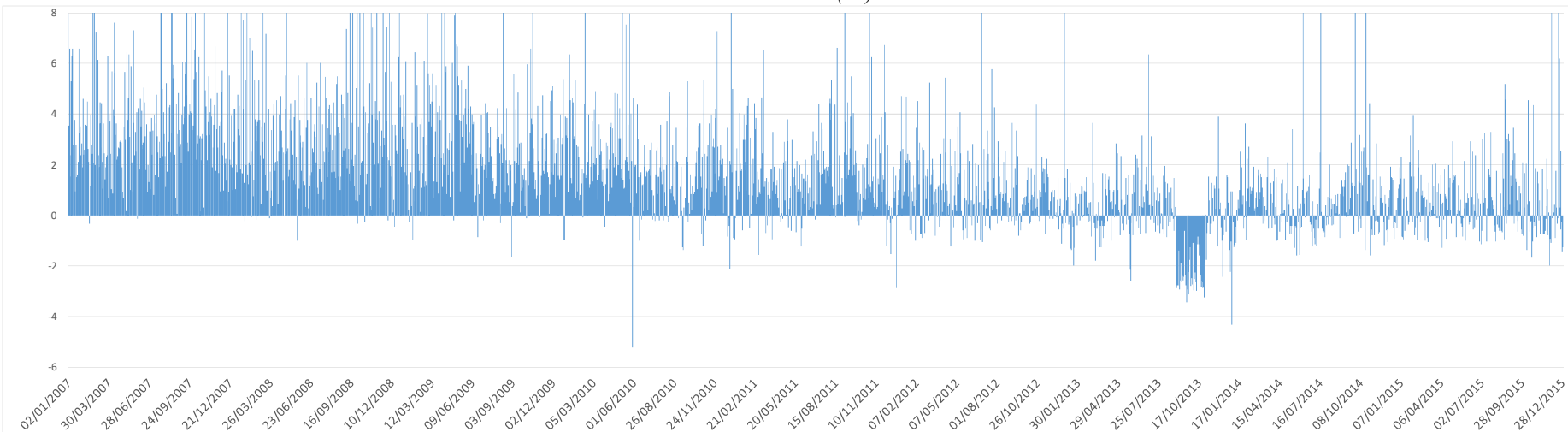
Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 17 - Estatísticas do teste  $z^*(8)$  da razão de variância



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 18 - Estatísticas do teste  $z^*(16)$  da razão de variância

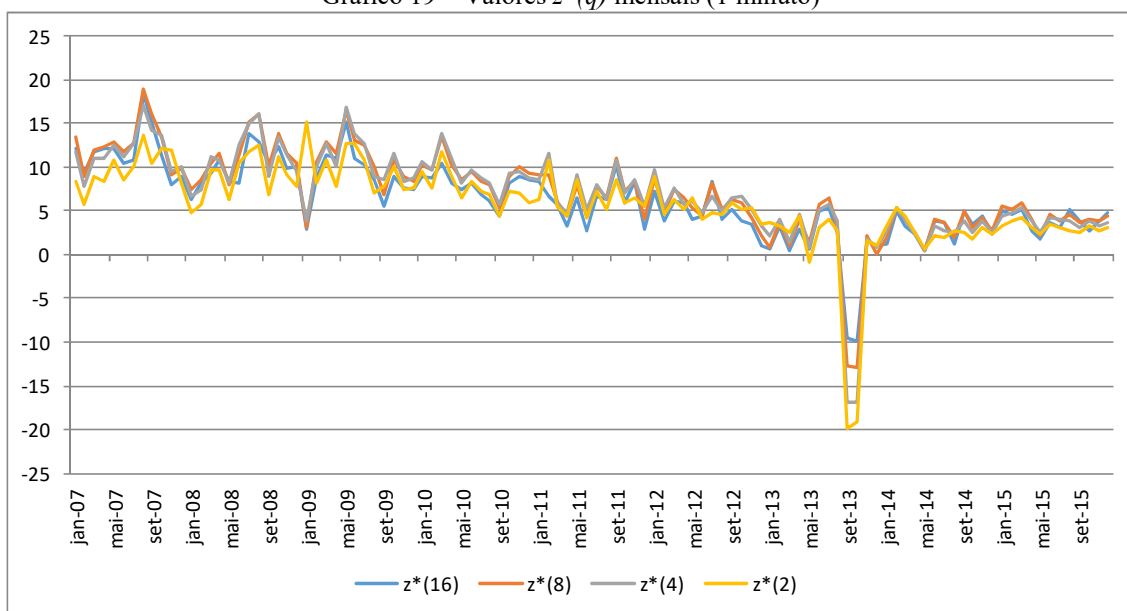


Fonte: Elaboração própria.

Ainda com observações em frequência de 1 minuto, foi efetuado o teste para períodos mensais. Ressalta-se que pela configuração do teste, qualquer observação é tratada como ocorrendo no mesmo intervalo após a anterior. Como o período compreende mais de um dia, o primeiro preço de um dia é tratado como se tivesse ocorrido um minuto após o preço de fechamento do dia anterior. O total de meses em análise é de 108 e a média de observações por mês é aproximadamente 8.550. Os resultados de  $z^*(q)$  mensais para retornos de 1 minuto são utilizados posteriormente para relacionar determinadas variáveis com a eficiência de mercado.

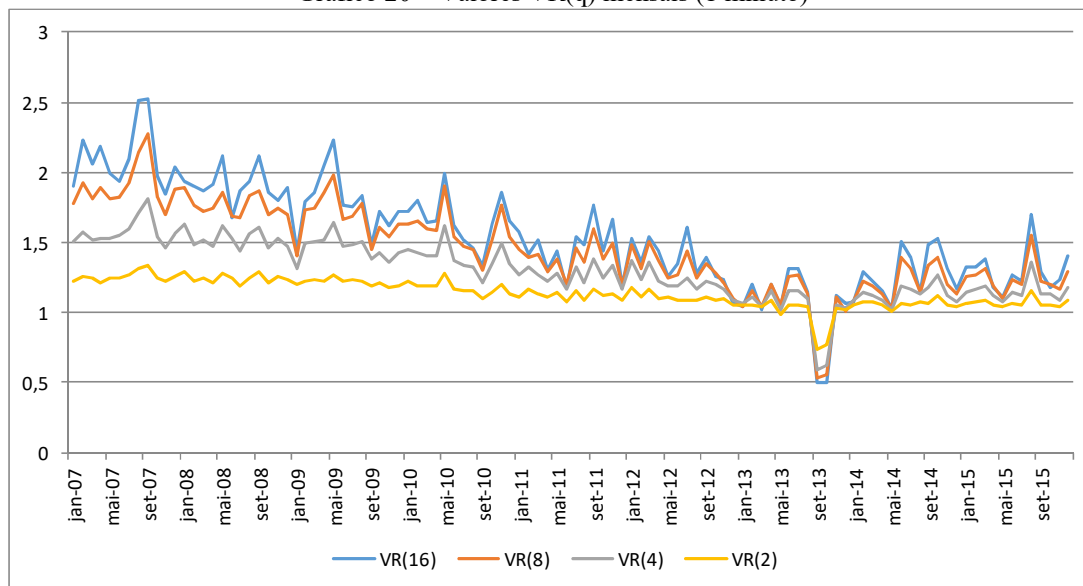
O Gráfico 19 apresenta os valores de  $z^*(q)$  e o Gráfico 20 os valores de  $VR(q)$ . Observam-se as mesmas tendências encontradas anteriormente nos testes diários de razão de variância e sequências para aleatoriedade.

Gráfico 19 – Valores  $z^*(q)$  mensais (1 minuto)



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 20 – Valores VR(q) mensais (1 minuto)



Fonte: Elaboração própria.

Retomando a **Hipótese 3**: O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.

Os resultados do teste de razão de variância e de sequência para aleatoriedade diários, assim como do teste de razão de variância para períodos mensais, todos analisados na frequência de 1 minuto, mostram que o mercado de capitais se tornou mais aleatório, e, portanto, mais eficiente no período testado. Tal resultado está em linha com o apontado na seção 2.6.3 por Litzenberger, Castura e Gorelick (2012) para ações americanas.

Em continuidade ao proposto no objetivo “f”, a seguir são analisadas as propriedades da série de autocorrelação obtida no teste de razão de variância para determinar se há relação entre o ganho em eficiência e o HFT e outras variáveis.

#### 4.2.3 Análise das propriedades das séries de autocorrelações

A seção anterior avaliou a presença de autocorrelação em séries de retornos em alta frequência do índice Bovespa. Aqui, analisa-se a relação entre a série de autocorrelação, obtida nos testes de razão de variância para períodos mensais, e variáveis de mercado, em especial número de transações e HFT. Conforme Bianco e Renò (2006), esse tipo de análise pode ajudar na compreensão dos mecanismos de formação de preços e dos processos de negociação.

Para isso, adota-se metodologia proposta por Bianco e Renò (2006). A razão de variância padronizada<sup>66</sup> mensal<sup>67</sup> para retornos em intervalos de um minuto é utilizada para efetuar uma série de regressões (método dos mínimos quadrados ordinários – MQO).

### Propriedades Autorregressivas

A primeira análise visa verificar a presença de padrões autorregressivos. Para isso Bianco e Renò (2006) sugerem o seguinte modelo (a dependência de  $q$  é omitida):

$$z_t^* = \alpha + \delta_1 \times z_{t-1}^* + \delta_2 \times z_{t-2}^* + \varepsilon_t \quad \text{Modelo 1}$$

Onde  $\varepsilon_t$  é barulho branco independente e identicamente distribuído (i.i.d). Além do modelo descrito, é estimado um modelo restrito com  $\delta_2 = 0$ .

Ainda seguindo o proposto por Bianco e Renò (2006), a especificação do modelo é testada com a metodologia da estatística de Ljung-Box com lag-5 nos resíduos. A estatística do teste é indicada por  $Q(5)$ .

Os resultados são apresentados na Tabela 6. Observa-se evidência de autoregressão de primeira ordem de  $z^*$  para todos os valores de  $q$ . O teste de Ljung-Box mostra que não há autocorrelação entre os resíduos em nenhum dos modelos testados, o que indica que os modelos não estão mal especificados.

Tabela 6 – Estimativas do Modelo 1 para diferentes valores de  $q$

$q$	$\alpha$	$\delta_1$	$\delta_2$	$Q(5)$	N	$R^2$ ajustado
2	1,884*** (3,43)	0,672*** (9,30)		4,673	107	0,446
4	1,895** (3,24)	0,720*** (10,69)		4,351	107	0,517
8	1,774** (3,17)	0,741*** (11,47)		4,190	107	0,552
16	1,560** (3,18)	0,743*** (11,57)		4,258	107	0,556
2	1,799** (3,07)	0,643*** (6,54)	0,0455 (0,46)	4,951	106	0,443
4	1,743** (2,81)	0,673*** (6,87)	0,0715 (0,73)	4,704	106	0,517
8	1,511* (2,57)	0,652*** (6,70)	0,128 (1,32)	4,240	106	0,558
16	1,272* (2,48)	0,618*** (6,37)	0,171 (1,77)	3,378	106	0,564

Estatística t entre parênteses. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Elaboração própria.

### Autocorrelação e Número de Transações

Bianco e Renò (2006) propõem também avaliar a relação entre autocorrelação e volume de negociação, colocando que tal indicador desempenha um papel chave em modelos que descrevem o fluxo de informações.

Nesta pesquisa, busca-se encontrar a relação entre eficiência de mercado, avaliada pela autocorrelação entre os retornos, e novas tecnologias e formas de negociação. Como foi visto,

<sup>66</sup>  $z^*(q)$ , denominada  $\widetilde{VR}$  na notação original utilizada por Bianco e Renò (2006).

<sup>67</sup> Os autores fazem a análise utilizando os resultados diários para retornos também de um minuto.

há forte correlação entre número de transações, HFT e *co-location*. Assim, adaptando o modelo sugerido por Bianco e Renò (2006), a relação entre autocorrelação intradiária e número de negócios é avaliada com a utilização da regressão apresentada no Modelo 2, sendo  $N_t$  o número de transações<sup>68</sup> no mês  $t$  dividido por 1 milhão. Além do modelo descrito, são estimados os modelos restritos com  $\delta_1 = 0$  e  $\delta_2 = 0$ .

$$z_t^* = \alpha + \beta \times N_t + \delta_1 \times z_{t-1}^* + \delta_2 \times z_{t-2}^* + \varepsilon_t \quad \text{Modelo 2}$$

Conforme apresentado na Tabela 7, há evidência de relação entre número de negócios e autocorrelação dos retornos intradiários em todos os modelos gerados, para todos os valores de  $q$ . O modelo estimado apenas com o número de negócios mostra que há relação entre as variáveis, porém o teste de Ljung-Box com lag-5 indica autocorrelação entre os resíduos, o que significa que o modelo está mal especificado e há outras variáveis importantes ausentes.

Nos modelos com os componentes autorregressivos, conclui-se que número de negócios é uma variável significativa para explicar a variabilidade na razão de variância. A relação é negativa, ou seja, um valor maior de número de transações está associado a uma razão de variância menor. Conforme apresentado no Gráfico 19, o valor de  $z^*(q)$  se mantém positivo por quase toda a série, com exceção de alguns meses no ano de 2013. Os valores negativos de  $\beta$  no modelo indicam, dessa maneira, que um aumento do número de transações está associado a uma melhora da eficiência de mercado, pois faz com que a razão de variância padronizada se aproxime de 0.

Tabela 7 – Estimativas do Modelo 2 para diferentes valores de  $q$

$q$	$\alpha$	$\beta$	$\delta_1$	$\delta_2$	Q(5)	N	R <sup>2</sup> ajus.
2	11,12*** (15,64)	-0,528*** (-8,54)			17,776**	108	0,402
4	13,02*** (18,33)	-0,603*** (-9,78)			24,021***	108	0,469
8	13,14*** (20,16)	-0,601*** (-10,62)			27,139***	108	0,511
16	11,65*** (20,41)	-0,536*** (-10,81)			26,323***	108	0,520
2	6,205*** (5,34)	-0,298*** (-4,14)	0,447*** (5,17)		2,305	107	0,520
4	6,843*** (5,38)	-0,321*** (-4,29)	0,475*** (5,62)		4,079	107	0,586
8	6,773*** (5,41)	-0,312*** (-4,38)	0,480*** (5,71)		4,003	107	0,618
16	6,041*** (5,42)	-0,278*** (-4,40)	0,477*** (5,63)		3,004	107	0,623
2	6,788*** (5,30)	-0,328*** (-4,30)	0,478*** (4,85)	-0,0731 (-0,77)	0,997	106	0,524
4	7,390*** (5,26)	-0,349*** (-4,40)	0,507*** (5,17)	-0,0627 (-0,66)	2,987	106	0,590
8	6,980*** (4,99)	-0,324*** (-4,24)	0,494*** (5,05)	-0,0186 (-0,19)	3,801	106	0,620
16	5,951*** (4,71)	-0,276*** (-4,00)	0,468*** (4,77)	0,0223 (0,23)	3,117	106	0,619

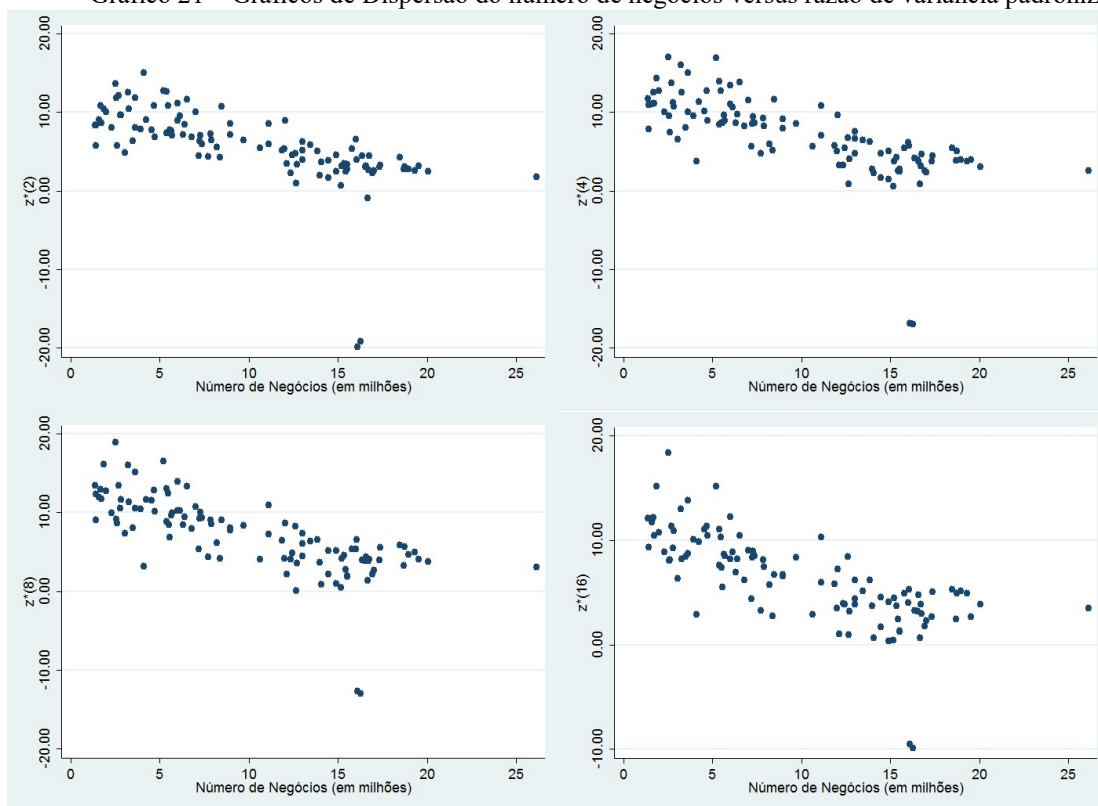
Estatística t entre parênteses. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Elaboração própria.

<sup>68</sup> Dado coletado no Economatica

A relação também é perceptível nos gráficos de dispersão do número de negócios e razão de variância padronizada (Gráfico 21).

Gráfico 21 – Gráficos de Dispersão do número de negócios versus razão de variância padronizada



Fonte: Elaboração própria.

### Autocorrelação e HFT

Para encerrar a análise referente ao objetivo “f”, testa-se a relação entre a participação de HFT no volume financeiro negociado no segmento Bovespa, apresentada anteriormente, e autocorrelação dos retornos. Tem-se da **Hipótese 4**:

**Hipótese 4:** Existe relação entre o ganho de eficiência e a introdução do HFT.

Tal relação é avaliada com a utilização da regressão apresentada no Modelo 3, sendo %HFT a participação do HFT no mercado. Além do modelo descrito, são estimados os modelos restritos com  $\delta_1 = 0$  e  $\delta_2 = 0$ .

$$z_t^* = \alpha + \beta \times \%HFT + \delta_1 \times z_{t-1}^* + \delta_2 \times z_{t-2}^* + \varepsilon_t \quad \text{Modelo 3}$$

Tabela 8 – Estimativas do Modelo 3 para diferentes valores de  $q$ 

$q$	$\alpha$	$\beta$	$\delta_1$	$\delta_2$	Q(5)	N	R <sup>2</sup> <sub>ajus</sub>
2	16,55*** (5,20)	-131,5*** (-4,14)			5,351	37	0,309
4	17,59*** (5,86)	-132,1*** (-4,41)			4,730	37	0,339
8	15,62*** (6,05)	-111,9*** (-4,34)			5,146	37	0,331
16	12,99*** (5,93)	-91,97*** (-4,21)			4,837	37	0,317
2	10,65* (2,41)	-83,84* (-2,10)	0,324 (1,86)		5,739	37	0,355
4	11,27* (2,58)	-83,93* (-2,20)	0,332 (1,93)		4,503	37	0,387
8	9,636* (2,57)	-68,37* (-2,13)	0,356* (2,11)		4,478	37	0,392
16	8,037* (2,54)	-56,32* (-2,09)	0,353* (2,09)		4,379	37	0,377
2	14,33** (3,22)	-105,3* (-2,72)	0,540** (2,87)	-0,533* (-2,32)	3,154	37	0,428
4	15,08** (3,28)	-105,8** (-2,78)	0,508* (2,72)	-0,459 (-2,01)	4,993	37	0,437
8	12,40** (3,07)	-83,64* (-2,56)	0,499* (2,68)	-0,364 (-1,63)	8,145	37	0,420
16	8,871* (2,50)	-61,16* (-2,13)	0,394* (2,11)	-0,116 (-0,53)	5,978	37	0,364

Estadística t entre parênteses. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que a relação é significativa e negativa em todos os modelos testados. Assim como em relação ao número de transações, os valores negativos de  $\beta$  no modelo mostram que o aumento da participação de HFT está associado a uma melhora da eficiência de mercado, pois faz com que a razão de variância padronizada se aproxime de 0.

Haja vista os testes efetuados com número de transações<sup>69</sup> e participação de HFT, há indicação de que a ascensão do HFT no mercado de capitais brasileiro pode estar relacionada ao ganho em eficiência observado no período.

Valida-se assim a **Hipótese 4** e considera-se atendido o objetivo “F”. A análise aqui realizada mostra evidência de que o mercado brasileiro se tornou mais eficiente nos últimos anos, analisando a frequência de 1 minuto, e que há relação entre o ganho em eficiência e o HFT.

Tal resultado está em linha com as conclusões Litzenberger, Castura e Gorelick (2012) e Brogaard, Hendershott e Riordan (2014). Também está em linha com a teoria da arbitragem e a natureza do HFT, que tem nesta uma de suas principais estratégias, explorando ineficiências em curtíssimo prazo e assim trazendo o mercado a uma situação de maior eficiência.

Como visto na Figura 3, as receitas dos operadores HFT no mercado de ações americano diminuíram no período recente. A existência de menos oportunidades de negociação devido à maior eficiência observada nos últimos anos é condizente com tal observação. Ainda, conforme Aldridge (2010), a atuação de tais operadores seria capaz de levar um mercado a uma situação de eficiência, como foi constatado nos testes efetuados.

<sup>69</sup> Que como visto possui forte correlação com a participação de HFT e *co-location*. Coloca-se que, pela própria definição de HFT, tal prática é caracterizada pelo grande número de ordens.



## Autocorrelação e Volatilidade

Visa-se aqui analisar a relação entre volatilidade e eficiência de mercado, conforme objetivo “g”.

Bianco e Renò (2006) afirmam que o impacto da volatilidade nos padrões de autocorrelação são discutidos na literatura empírica. Segundo LeBaron (1992) *apud* Bianco e Renò (2006), em dados diários e semanais, as evidências apontam autocorrelação dos retornos positiva em dados caracterizados por baixa volatilidade, e ausência de autocorrelação em casos de alta volatilidade.

Bianco e Renò (2006), por sua vez, encontram relação positiva entre a autocorrelação intradiária e volatilidade, em especial quanto ao componente não esperado da volatilidade<sup>70</sup>. Colocam que a autocorrelação tende a ser mais alta em dias de alta volatilidade. Coloca-se assim a **Hipótese 5** aqui testada:

**Hipótese 5:** Há uma relação positiva entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.

A variância é calculada como a soma dos retornos ao quadrado<sup>71</sup>, conforme metodologia apresentada por Bianco e Renò (2006)<sup>72</sup>:

$$\sigma_t^2 = \sum_{t=1}^T [p(t+1) - p(t)]^2 \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$p(t)$  é o preço logarítmico em  $t$

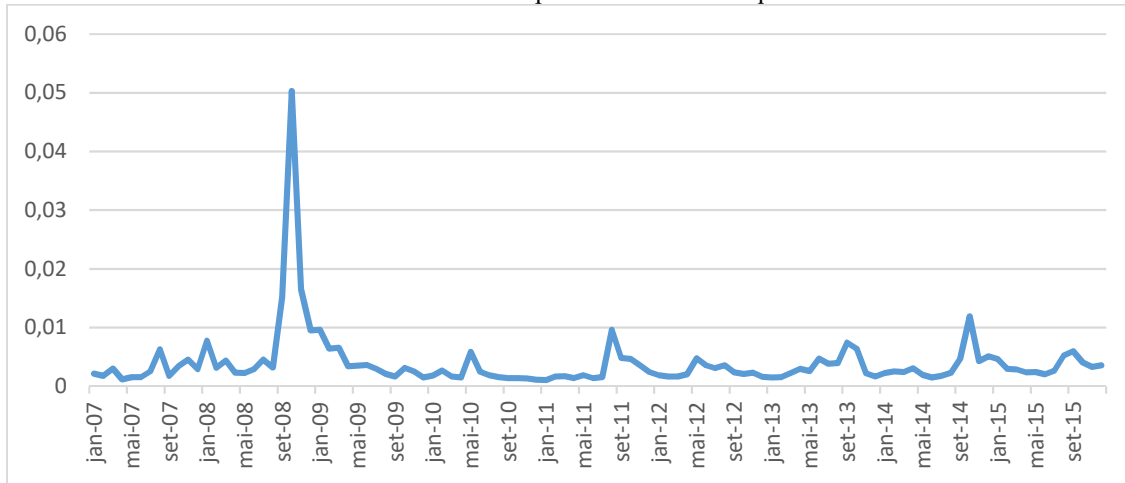
A série de tempo da volatilidade mensal, calculada conforme Equação 13, é apresentada no Gráfico 22.

<sup>70</sup> Conforme Bianco e Renò (2006), é sabido que volatilidade é altamente previsível em mercados financeiros, tendo componentes previsíveis e um componente inesperado. A separação entre o componente previsível e o inesperado não é tratada na presente pesquisa.

<sup>71</sup> Bianco e Renò (2006) ressaltam que ao definir a variância dessa forma, assume-se implicitamente que a média dos retornos é zero, o que é comum quando se trata de dados intradiários. A fórmula foi modificada em relação à original apresentada no artigo, pois no caso aqui tratado trabalha-se apenas com uma frequência de retorno, 1 minuto.

<sup>72</sup> A volatilidade utilizada na regressão proposta pelos autores é calculada de maneira diferente, utilizando expansão trigonométrica (método Fourier).

Gráfico 22 – Volatilidade mensal para retornos em frequência de 1 minuto



Fonte: Elaboração própria.

O seguinte modelo é estimado para diferentes valores de  $q$ :

$$z_t^* = \alpha + \beta \times \log \sigma_t^2 + \delta_1 \times z_{t-1}^* + \delta_2 \times z_{t-2}^* + \varepsilon_t \quad \text{Modelo 4}$$

Onde  $\varepsilon_t$  é barulho branco independente e identicamente distribuído (i.i.d). Além do modelo descrito, são estimados os modelos restritos com  $\delta_1 = 0$  e  $\delta_2 = 0$ .

Os resultados são apresentados na Tabela 9. Observa-se que não há evidência de relação entre volatilidade e autocorrelação dos retornos em nenhum dos casos analisados. Tal resultado não permite validar a **Hipótese 5**.

Tabela 9 – Estimativas do Modelo 4 para diferentes valores de  $q$ 

$q$	$\alpha$	$\beta$	$\delta_1$	$\delta_2$	Q(5)	N	R <sup>2</sup> ajustado
2	4,283 (1,00)	-0,271 (-0,37)			142,498***	108	-0,008
4	4,934 (1,09)	-0,357 (-0,46)			170,858***	108	-0,007
8	7,696 (1,78)	0,093 (0,13)			189,991***	108	-0,009
16	8,374* (2,20)	0,353 (0,54)			195,369***	108	-0,007
2	0,0242 (0,01)	-0,318 (-0,59)	0,673*** (9,27)		5,075	107	0,443
4	-0,821 (-0,26)	-0,464 (-0,87)	0,722*** (10,70)		4,897	107	0,516
8	0,505 (0,17)	-0,215 (-0,44)	0,743*** (11,43)		4,377	107	0,549
16	1,447 (0,55)	-0,019 (-0,04)	0,743*** (11,48)		4,272	107	0,552
2	-0,556 (-0,17)	-0,399 (-0,72)	0,636*** (6,41)	0,0583 (0,58)	5,383	106	0,441
4	-1,685 (-0,51)	-0,579 (-1,06)	0,663*** (6,74)	0,0889 (0,90)	5,211	106	0,517
8	-0,679 (-0,22)	-0,367 (-0,74)	0,647*** (6,61)	0,139 (1,42)	4,334	106	0,556
16	0,402 (0,15)	-0,146 (-0,33)	0,616*** (6,32)	0,175 (1,79)	3,370	106	0,560

Estatística t entre parênteses. \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Fonte: Elaboração própria.

### 4.3 Análise da eficiência informacional para dados em diferentes frequências de observação

Conforme colocado no objetivo “h”, busca-se aqui avaliar a eficiência de mercado em diferentes frequências.

A Hipótese 6, elaborada a partir de resultados e observações como os de Aldridge (2010), Vanstone e Hahn (2015), Bollen e Inder (2002) e Pontuschka e Perlin (2015), foi definida como:

**Hipótese 6:** Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado.

Para testá-la, é necessário avaliar a eficiência informacional para preços de fechamento colhidos em diferentes intervalos. Foram escolhidas as seguintes frequências de observação: 1, 2, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos e 1 dia. Novamente testa-se estatisticamente, por meio do teste de razão de variância para o período 2007-2015, a seguinte hipótese:

$H_0$  - Os retornos do Índice Bovespa no dia **seguem** um passeio aleatório;

$H_1$  - Os retornos do Índice Bovespa no dia **não seguem** um passeio aleatório.

A Tabela 10 apresenta os resultados do teste de razão de variância para as frequências escolhidas. Em geral, os testes com frequências até 5 minutos tiveram valores significativamente acima de 1, ao passo que para frequências de 10 ou mais minutos, em apenas 3 casos a eficiência é rejeitada. Além disso, a razão de variância é mais próxima de um para frequências menores de observação. Em linha com os estudos apontados, valida-se a Hipótese 6.

Tabela 10 – Razão de Variância para diferentes frequências

Frequência	VR(2)	VR(4)	VR(8)	VR(16)	Observações
1 min	1,16*** (37,43)	1,34*** (46,36)	1,52*** (50,23)	1,61*** (45,55)	925.122
2 min	1,16*** (29,03)	1,32*** (33,68)	1,4*** (30,33)	1,44*** (25)	463.683
5 min	1,1*** (16,47)	1,14*** (12,89)	1,16*** (9,6)	1,16*** (6,64)	185.971
10 min	1,01 (1,63)	1,02 (1,3)	1 (0,19)	1,01 (0,2)	93.705
15 min	1,01 (1,37)	1 (0,1)	1 (-0,09)	1,02 (0,66)	62.529
30 min	0,97** (-2,1)	0,97 (-1,27)	0,99 (-0,27)	1,02 (0,47)	31.334
60 min	1,02 (0,95)	1,04 (1,25)	1,08* (1,71)	1,05 (0,74)	15.809
1 dia	0,98 (-0,65)	0,91 (-1,28)	0,81* (-1,68)	0,76 (-1,45)	2.208

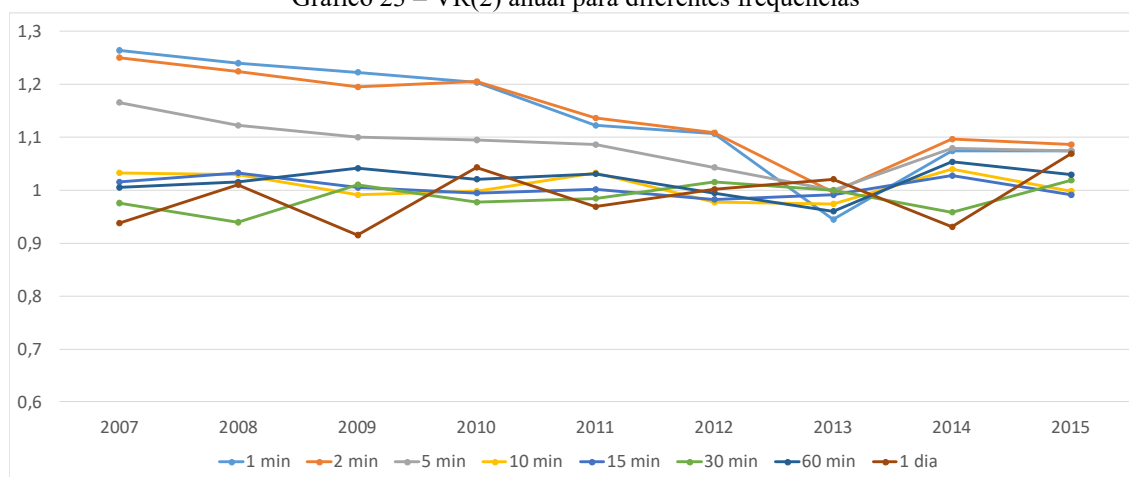
\*\*\*p-valor < 0,01 \*\*p-valor<0,05 \*p-valor<0,1. z\*(q) entre parênteses

Fonte: Elaboração própria.

A última hipótese avaliada é a **Hipótese 7:** Os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores.

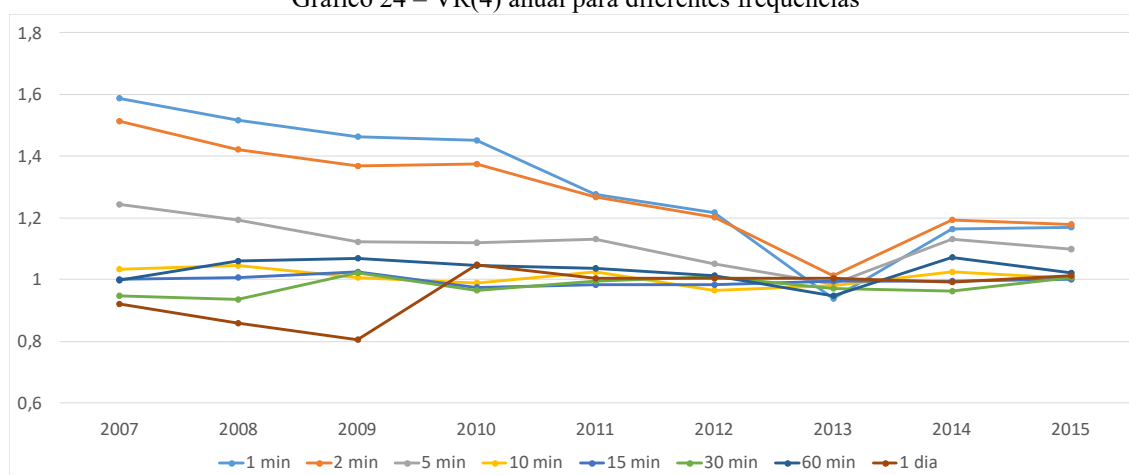
Para analisar tal hipótese, foram gerados os valores de razão de variância para cada ano nas frequências especificadas na Hipótese 6. Os valores são apresentados nos gráficos a seguir. Nota-se uma convergência da razão de variância anual das frequências de 1 e 2 minutos para um valor mais próximo a 1, o que não ocorre com os outros valores que estão próximos de 1 desde o início da série. Lembra-se aqui que no ano de 2013 houve um período de dois meses de fortes autocorrelações negativas para a série de 1 minuto, então os valores de VR próximos a 1 não significam necessariamente uma maior eficiência nesse ano. Para as séries de 15 ou mais minutos e de 1 dia, rejeita-se a hipótese nula, considerando o nível de significância 0,1, em apenas em dois casos<sup>73</sup>. As séries de tempo da razão de variância anual para diferentes frequências são apresentadas nos gráficos a seguir.

Gráfico 23 – VR(2) anual para diferentes frequências



Fonte: Elaboração própria.

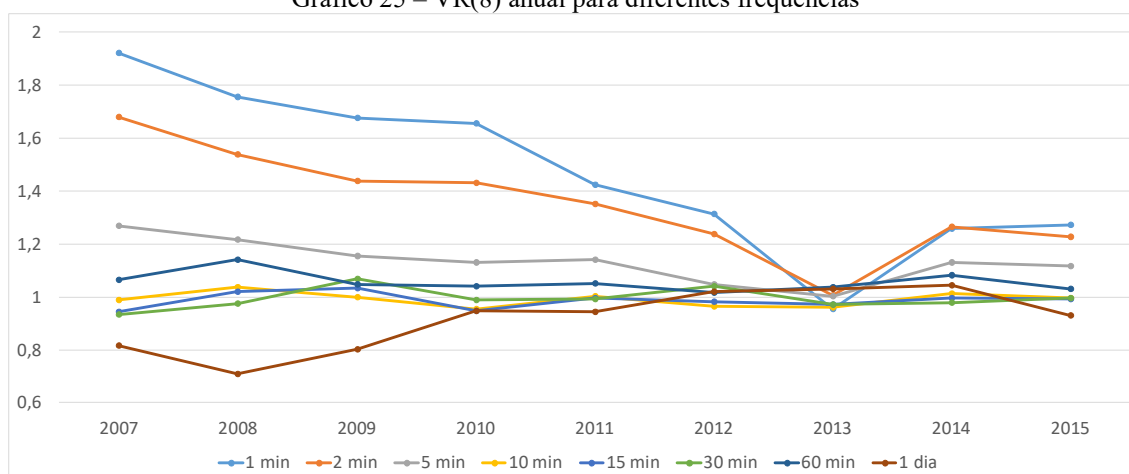
Gráfico 24 – VR(4) anual para diferentes frequências



Fonte: Elaboração própria.

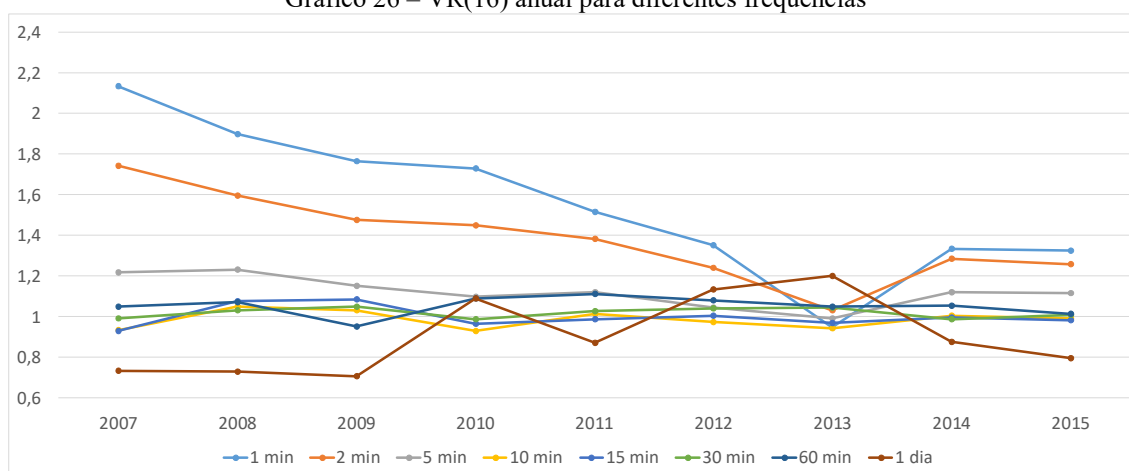
<sup>73</sup> Ano de 2008 para VR(2) em 30 minutos (p-valor = 0,06); Ano de 2014 para VR(2) em 60 minutos (p-valor = 0,07).

Gráfico 25 – VR(8) anual para diferentes frequências



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 26 – VR(16) anual para diferentes frequências



Fonte: Elaboração própria.

Conforme definições de HFT, a operação desses investidores é bastante sensível à latência. São utilizados recursos avançados de *hardware* e *software* para identificar oportunidades, enviar ordens e entrar e sair de posições em intervalos curtíssimos de tempo, chegando a frações de segundos. Como foi visto, para a frequência de 1 minuto, tais investidores levaram o mercado a uma situação de melhor eficiência. Mas pelas próprias características de negociação e estratégias adotadas no HFT, era esperado que o impacto não fosse tão grande para frequências menores de observação, conforme observado no teste aqui proposto. Valida-se assim a **Hipótese 7**.

Os resultados aqui apresentados permitiram caracterizar o mercado brasileiro quanto às suas características de negociação e eficiência nessa era de alta frequência. O Quadro 7 sintetiza os resultados, de acordo com o plano de análise definido no Quadro 6.

Quadro 7 – Resultados da análise quantitativa

Objetivos específicos	Hipóteses definidas	Resultados
e) Caracterizar o mercado brasileiro quanto ao número de negócios, volume transacionado e volume por negócio, e verificar se há correlação entre essas variáveis e a adoção do HFT e do co-location.	<b>Hipótese 1:</b> O número de transações aumenta e o valor médio negociado por operação diminui com o aumento da participação do HFT no mercado.	Validada
	<b>Hipótese 2:</b> O aumento no número de negociações e diminuição no valor por operação é mais acentuado entre as ações mais líquidas.	Validada
f) Verificar se o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente em sua forma fraca nos últimos anos e se há alguma relação com a presença de HFT.	<b>Hipótese 3:</b> O mercado de capitais tornou-se mais eficiente em sua forma fraca ao longo do período analisado, entre 2007 e 2015.	Validada
	<b>Hipótese 4:</b> Existe relação entre o ganho de eficiência e a introdução do HFT.	Validada
g) Verificar se há relação entre autocorrelação dos retornos e volatilidade no mercado brasileiro.	<b>Hipótese 5:</b> Há uma relação positiva entre autocorrelação dos retornos e volatilidade.	Não validada
h) Comparar a eficiência informacional do mercado nacional em diferentes frequências de observação dos dados.	<b>Hipótese 6:</b> Quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado.	Validada
	<b>Hipótese 7:</b> Os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores.	Validada

Fonte: Elaboração própria.

## 5 Considerações finais

O rápido desenvolvimento tecnológico observado nos últimos anos mudou radicalmente a configuração de diversos setores da economia. Como observam Laudon e Laudon (2014), a introdução de uma nova tecnologia da informação tem um efeito cascata, levantando questões éticas, sociais e políticas. Tal situação pode ser observada no mercado financeiro, setor que desde os primórdios é caracterizado pela busca por velocidade e adoção de novas tecnologias.

Negociações que eram feitas nas bolsas locais, em meio à gritaria e gesticulação dos corretores, hoje ocorrem numa sofisticada rede de computadores que interliga mercados espalhados pelo mundo. Corretores e operadores que antes ficavam no chão das bolsas, hoje estão atrás dos computadores, junto com matemáticos, estatísticos e físicos, programando algoritmos complexos capazes de processar volumes gigantescos de dados e emitir milhares de ordens por segundo. Tais algoritmos competem em uma corrida para ver qual atinge o sistema do ambiente de negociação primeiro para aproveitar oportunidades de lucro advindas de discrepância de preços que duram milésimos de segundos.

Surge assim o HFT, colocado pela U.S. SEC como uma das mais significativas mudanças nos ambientes de negociação. O rápido crescimento da atividade trouxe diversos questionamento por parte de reguladores, investidores e pesquisadores, no intuito de entender o funcionamento e os impactos da prática. Como coloca Hara (2015, p. 257, tradução nossa) “A maneira que os investidores negociam, a maneira que os mercados estão estruturados, até a maneira que liquidez e descoberta de preço surgem – todos são diferentes agora no mundo de alta frequência”.

Não havendo um consenso ou uma definição única, foram apresentadas diferentes definições do termo nessa dissertação. Em geral, coloca-se HFT como um subgrupo das negociações com algoritmos<sup>74</sup> caracterizado pela rápida realocação de capital, pelo grande número de ordens executadas e canceladas e pelo uso de serviços de serviços como o *collocation* e tecnologias para minimizar a latência no envio das ordens.

Diante desse cenário, colocou-se o questionamento que norteou a pesquisa: “Quais os impactos da introdução do HFT no mercado de capitais brasileiro?”.

Buscou-se primeiramente investigar o desenvolvimento da prática no mundo e no Brasil, apresentando o contexto histórico e institucional que permitiu seu surgimento e crescimento.

---

<sup>74</sup> Apesar de determinados pesquisadores separarem as duas práticas.

Também foram descritas as principais estratégias adotadas por esses investidores. Foram identificadas as seguintes práticas capazes de trazer benefícios para o mercado: (i) *Market Making*, (ii) Arbitragem, (iii) *Pair Trading* e Arbitragem Estatística, (iv) Estratégias de Reação a Notícias, (v) Estratégias Técnicas e Preditiva; e (vi) Estratégia de Descoberta de Ordens. Por outro lado, foram apontadas as seguintes práticas adotadas por HFTs como manipulativas: (i) *Front Running*; (ii) *Order Triggering*. (iii) *Spoofing*; (iv) *Wash Sale*; e (v) *Quote Stuffing* (ANGEL; MCCABE, 2013).

Foram identificados também os principais impactos da prática, conforme revisão sistemática da literatura em relação à qualidade de mercado nas seguintes dimensões: liquidez, volatilidade, descoberta/eficiência de preços e custos de transação. Foram encontrados impactos positivos e negativos, que estão sintetizados no mapa apresentado na Figura 4.

Além disso, são apontados riscos e iniciativas adotadas ou propostas para mitigá-los. Goldstein, Kumar e Graves (2014) listam 14 falhas relacionadas a recursos tecnológicos e algoritmos ocorridas entre 2010 e 2013 nos mercados internacionais. Destacam-se o *flash crash* e o caso das perdas milionárias da empresa Knight Capital por conta do funcionamento defeituoso de um *software* de negociação. Segundo Goldstein, Kumar e Graves (2014), a atuação dos HFTs, em determinadas situações, pode criar um ciclo vicioso gerando riscos sistêmicos e momentos de instabilidade, como no *flash crash*.

Os pontos colocados anteriormente constituem-se como contribuições teóricas atingidas nessa pesquisa.

Reconhecidos os pontos mais relevantes da literatura, partiu-se para uma pesquisa empírica com o seguinte objetivo geral: Analisar os impactos das negociações em alta frequência na eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro.

A importância do tema foi destacada por The Government Office For Science (2012, p. 53, tradução nossa). Em uma análise da eficiência com a introdução de algoritmos e tecnologias de alta frequência, a entidade coloca que uma proposição central de economistas financeiros é que:

[...] preços mais eficientes (que melhor refletem os valores fundamentais) em mercados financeiros contribuem para decisões mais bem informadas de financiamento e investimento e, em última instância, para melhor alocação de recursos na economia ampla e, dessa forma, maior bem-estar. [...]

Aggarwal e Wu (2006), em um estudo sobre manipulação nos mercados de capitais, afirmam que a maior parte dos casos de manipulação acontece em mercados relativamente ineficientes, como mercados de balcão, que são pequenos e apresentam pouca liquidez. O



modelo proposto pelos pesquisadores aponta ainda que a presença de manipuladores torna um mercado menos eficiente. Assim, pode-se inferir que uma maior eficiência pode tornar um mercado menos susceptível a casos de manipulação. Mostra-se assim relevante estudar a evolução da eficiência de um mercado.

Conforme Pontuschka e Perlin (2015, p. 191), há atualmente “tendência da literatura financeira de averiguação dos dados financeiros em frequências maiores” por conta dos avanços tecnológicos e estratégias com maiores velocidades de negociação. Para os pesquisadores fica evidente também a necessidade de pesquisas que esclareçam o impacto e as consequências das negociações de alta frequência, seus benefícios e riscos.

Nesse sentido, tal pesquisa foi a única encontrada que analisa empiricamente a eficiência do mercado brasileiro para diferentes frequências intradiárias, porém sem entrar no mérito da evolução dessa eficiência ao longo do tempo ou dos impactos da introdução de novas tecnologias. Assim, ao que tudo indica, o presente estudo é o mais amplo já realizado, empiricamente, sobre a evolução da eficiência informacional e os impactos da introdução do HFT no mercado brasileiro.

Para isso, foi escolhido o período de 2007 a 2015 e o índice Bovespa como principal índice representativo das ações negociadas no mercado brasileiro. Foram obtidos os retornos intradiários, em frequências a partir de um minuto, além de outros indicadores de mercado como número de transações, volume negociado, participação de investidores HFT no mercado, entre outros.

A eficiência informacional foi analisada testando a distribuição dos retornos do índice sob a hipótese de se caracterizarem como um processo de rumo aleatório. Para isso, foram utilizados dois testes estatísticos que avaliam a autocorrelação dos retornos, o teste não-paramétrico das sequências para aleatoriedade e o teste paramétrico de razão de variância, executados para diferentes períodos e frequências.

A análise da evolução da série de tempo das autocorrelação, para frequência de 1 minuto, permitiu concluir que o mercado de capitais brasileiro se tornou mais eficiente ao longo do período analisado. Também indica que há relação entre o ganho em eficiência e o aumento da participação do HFT no mercado e do número de transações.

Tais resultados estão em linha<sup>75</sup> com o que foi testado empiricamente em outras pesquisas, como Litzenberger, Castura e Gorelick (2012), Brogaard, Hendershott e Riordan (2014)<sup>76</sup> e Bank e Baumann (2016), e discutido por Aldridge (2010).

Dados apontados por Serbera e Paumard (2016) e Massoudi e Stafford (2014) mostram que a participação, as receitas e a lucratividade do HFT, após um auge em 2009, vêm caindo<sup>77</sup>. Tal informação corrobora a observação de ganho de eficiência, pois em um mercado eficiente há menos oportunidades de lucrar com estratégias como a arbitragem.

Não foram encontrados indícios de relação entre a autocorrelação dos retornos e volatilidade intradiária do índice Bovespa.

A análise da eficiência em diferentes frequências de retorno permitiu concluir que quanto menor o intervalo de tempo entre os dados coletados, maiores as evidências de ineficiência de mercado. Tal observação no mercado nacional já havia sido apontada por Pontuschka e Perlin (2015) ao investigarem a estratégia de pares.

Além disso, observou-se que os ganhos em eficiência são mais evidentes quando se consideram frequências de observação maiores (1 e 2 minutos). Os últimos resultados fortalecem a percepção de que a melhora na eficiência está relacionada diretamente à atuação dos HFTs no mercado, haja vista a característica destes de explorarem ineficiências de preço em frações de segundos.

A análise que objetivava caracterizar o mercado brasileiro, por sua vez, apontou que existe relação entre o aumento no número de transações e diminuição do valor médio por transação, observado entre as ações mais líquidas, e o crescimento do HFT e do *co-location* no segmento Bovespa.

Descreveu-se assim o mercado de capitais nessa era de alta frequência e os impactos do HFT na eficiência de mercado. Tais pontos podem ser colocados como contribuições práticas deste estudo.

---

<sup>75</sup> Ainda que haja discordância e resultados na contra mão do encontrado, como Lee (2013), que conclui que no mercado coreano a atuação dos investidores HFT é prejudicial ao processo de descoberta de preços.

<sup>76</sup> Que apontam ainda uma relação causal entre o ganho em eficiência e a atuação de investidores HFT.

<sup>77</sup> Nessa linha, Worstall (2015) opina que o pânico e a excitação em relação ao HFT passaram, e hoje é uma tecnologia madura sem lucros excessivos. Ainda, que o próprio mercado corrigiu possíveis problemas, e o que ficou foi a liquidez e os *spreads* menores trazidos pelos robôs procurando por oportunidades de arbitragem. Tudo dentro da lógica do capitalismo. O avanço tecnológico permitiu que os primeiros entrantes obtivessem grandes lucros, o que atraiu novos entrantes. A tecnologia se espalhou e os lucros excessivos desapareceram, restando os benefícios para o consumidor, pondera o colunista da Forbes.

## 5.1 Limitações e perspectivas para trabalhos futuros

A seguir são relatadas as limitações encontradas no decorrer da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras sobre o tema e assuntos correlatos.

A primeira limitação se refere à dificuldade de obtenção de dados sobre os mercados financeiros e de capitais no Brasil. Poucas são as fontes disponíveis para dados de fechamento, e quando se trata de dados intradiários a dificuldade de obter os dados se acentua. Em todas as fontes consultadas, as séries históricas da Bovespa e da BM&F só apresentavam cotações intradiárias a partir de 2006. Retomando Pontuschka e Perlin (2015), a utilização de dados em alta frequência é uma tendência da literatura financeira. Assim, ainda há espaço para diversos trabalhos futuros utilizando tais tipos de dados.

Uma sugestão seria a BM&FBovespa fornecer, assim como foi feito pela Nasdaq<sup>78</sup> e outras entidades estrangeiras, base de dados com todas as ofertas e operações para determinado período, discriminando quais foram emitidas ou executadas por investidores classificados como HFT. Tal base permitiria que pesquisadores aprofundassem as análises sobre o tema no mercado brasileiro e identificassem as características de atuação desses investidores e as relações causais entre a atuação e possíveis impactos.

Outra limitação diz respeito aos testes efetuados. Eles analisam padrões específicos de autocorrelação. Portanto, a afirmação de ganho de eficiência proposta no estudo limita-se aos padrões de previsibilidade identificados nos testes executados. Outros testes, com utilização de redes neurais e *machine learning*, por exemplo, podem ser capazes de identificar padrões de previsibilidade mais complexos e chegar a diferentes conclusões. Reboredo, Matías e Garcia-Rubio (2012) sugerem a utilização de modelos não-lineares nessa tarefa, apresentando algumas opções.

Além disso, sugere-se a análise das outras formas de eficiência nesse ambiente de alta frequência. Pode-se avaliar a velocidade de ajuste a novas informações, como foi feito no estudo de eventos realizado por Bank e Baumann (2016) no mercado alemão.

Focou-se nesse trabalho a questão da eficiência informacional. Como visto anteriormente, os impactos do HFT na qualidade de mercado não se limitam apenas a esse indicador. Estudos sobre liquidez, volatilidade e custos de transação no mercado nacional

---

<sup>78</sup> Conforme U.S. SEC (2014) e Carrion (2013), tal base de dados foi utilizada em uma série de estudos sobre os impactos do HFT.

podem esclarecer os impactos, positivos e negativos, da prática, além de fornecer subsídios para decisões mais embasadas por parte de reguladores, bolsas e investidores.

Por fim, foi testado apenas o índice Bovespa, como um índice representativo das principais ações negociadas no mercado brasileiro. Sugere-se a aplicação dos testes para ações individuais<sup>79</sup>, outros índices e outros tipos de ativos, como moedas e derivativos. Tais análises permitiriam comparar, por exemplo, os impactos do HFT na eficiência de ações de baixa liquidez com as de alta liquidez.

---

<sup>79</sup> Lembrando que, ao passo que índices costumam apresentar autocorrelação positiva no teste de razão de variância, ações individuais tendem a apresentar autocorrelação negativa.

## Referências

- ADLER, J. Raging Bulls: How Wall Street Got Addicted to Light-Speed Trading. **Wired**, 3 ago. 2012. Disponível em: <[http://www.wired.com/2012/08/ff\\_wallstreet\\_trading/all/](http://www.wired.com/2012/08/ff_wallstreet_trading/all/)>. Acesso em: 5 out. 2015.
- AGGARWAL, R.; WU, G. Stock Market Manipulations. **The Journal of Business**, v. 79, n. 4, p. 1915–1953, 2006.
- AITKEN, M. J.; FREDERICK, F. H.; JI, S. A Worldwide Examination of Exchange Market Quality: Greater Integrity Increases Market Efficiency. **Journal of Business Ethics**, v. 132, n. 1, p. 147–170, 2015.
- AKERLOF, G. A. The Market for “Lemons”: Quality Uncertainty and the Market Mechanism. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 84, n. 3, p. 488–500, 1970.
- ALDRIDGE, I. **High-frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- ALLEN, F.; GALE, D. **Financial Innovation and Risk Sharing**. Cambridge (Mass.): The MIT Press, 1994.
- ANGEL, J. J.; MCCABE, D. Fairness in Financial Markets: The Case of High Frequency Trading. **Journal of Business Ethics**, v. 112, n. 4, p. 585–595, fev. 2013.
- BANK, M.; BAUMANN, R. H. Price formation, market quality and the effects of reduced latency in the very short run. **Research in International Business and Finance**, v. 37, p. 629–645, 2016.
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. **Recent Innovations in International Banking**. Basel, 1986. Disponível em: <<http://www.bis.org/publ/ecsc01.htm>>. Acesso em: 30 jul. 2015
- BARCELLOS, M. **Histórias do Mercado de Capitais no Brasil: depoimentos inéditos de personalidades que marcaram a trajetória das bolsas de valores do país**. Rio de Janeiro : Elsevier; São Paulo: BOVESPA, 2010.
- BARRALES, E. O. LESSONS FROM THE FLASH CRASH FOR THE REGULATION OF HIGH-FREQUENCY TRADERS\*. **Fordham Journal of Corporate & Financial Law**, v. 17, n. 4, p. 1195–1262, 2012.
- BAUM, C. LOMACKINLAY: Stata module to perform Lo-MacKinlay variance ratio test. 14 nov. 2007. Disponível em: <<http://econpapers.repec.org/RePEc:boc:bocode:s456740>>. Acesso em: 20 jan. 2016.
- BIANCO, S.; RENÒ, R. Dynamics of intraday serial correlation in the italian futures market. **Journal of Futures Markets**, v. 26, n. 1, p. 61–84, 1 jan. 2006.
- BM&FBOVESPA. **OFÍCIO CIRCULAR 028/2010**. [s.l.], 2010. Disponível em: <<http://www.bmf.com.br/bmfbovespa/pages/boletim1/informes/2010/agosto/OC028-2010->

DP.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2016

BM&FBOVESPA. **Demonstrações Financeiras de 2013**. [s.l.], 2013. Disponível em: <<http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/1990/DFBVMF2013Completo.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2016

BM&FBOVESPA. Relações com Investidores - Banco de Dados. Disponível em: <[http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/15/Banco de dados\\_Operational Figures\\_2016.04.xlsx](http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/15/Banco_de_dados_Operational_Figures_2016.04.xlsx)>. Acesso em: 19 maio. 2016a.

BM&FBOVESPA. Acesso Direto ao Mercado - DMA. Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/servicos/negociacao/acesso-direto-ao-mercado-dma/sobre-dma/](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/negociacao/acesso-direto-ao-mercado-dma/sobre-dma/)>. Acesso em: 26 jul. 2016b.

BOLLEN, B.; INDER, B. Estimating daily volatility in financial markets utilizing intraday data. **Journal of Empirical Finance**, v. 9, n. 5, p. 551–562, 2002.

BROGAARD, J. **High Frequency Trading and its Impact on Market quality**. Working Paper, 2010. Disponível em: <[http://modernmarketsinitiative.org/wp-content/uploads/2013/10/HFT\\_Trading.pdf](http://modernmarketsinitiative.org/wp-content/uploads/2013/10/HFT_Trading.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2014

BROGAARD, J.; HENDERSHOTT, T.; RIORDAN, R. High-frequency trading and price discovery. **Review of Financial Studies**, v. 27, n. 8, p. 2267–2306, 2014.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. Eficiência, previsibilidade dos preços e anomalias em mercados de capitais: teoria e evidências. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, n. 7, p. 71–85, 1998.

CAMARGOS, M. A. DE; BARBOSA, F. V. Eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro pós-Plano Real: um estudo de eventos dos anúncios de fusões e aquisições. **Revista de Administração**, v. 41, n. 1, p. 43–58, 2006.

CAMARGOS, M. A. DE; GOMES, G. D.; BARBOSA, F. V. INTEGRAÇÃO DE MERCADOS E ARBITRAGEM COM TÍTULOS TRANSFRONTEIRIÇOS: ADRS – AMERICAN DEPOSITARY RECEIPTS. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 10, n. n. 2, p. 51–67, 2003.

CAMPBELL, J. Y.; LO, A. W. C.; MACKINLAY, A. C. **The econometrics of financial markets**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1997.

CAPPA, L.; PEREIRA, P. L. V. **MODELANDO A VOLATILIDADE DOS RETORNOS DE PETROBRÁS USANDO DADOS DE ALTA FREQUÊNCIA**. Texto para Discussão, 2010. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/6857>>. Acesso em: 5 ago. 2016

CARRION, A. Very fast money: High-frequency trading on the NASDAQ. **Journal of Financial Markets**, v. 16, n. 4, p. 680–711, nov. 2013.

CARRION, B. M. BM&FBOVESPA EXIBE DATACENTER E MANDA RECADO PARA CONCORRENTES. **Capital Aberto**, Disponível em: <<https://capitalaberto.com.br/blogs/bmfbovespa-exibe-datacenter-e-manda-recado-para-concorrentes/#.V5ezlLgrKUm>>.

Acesso em: 26 jul. 2016.

CARVALHO, G. DE. **Introdução às finanças internacionais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CASTURA, J. et al. **Market efficiency and microstructure evolution in US equity markets: A high-frequency perspective**. Working Paper. RGM Advisors, LLC, 2010. Disponível em: <[http://finlin.wharton.upenn.edu/departament/Seminar/micro/Litzenberger\\_transient\\_vol5\\_2010.pdf](http://finlin.wharton.upenn.edu/departament/Seminar/micro/Litzenberger_transient_vol5_2010.pdf)>. Acesso em: 30 ago. 2014

CHORDIA, T. et al. High-frequency trading. **Journal of Financial Markets**, v. 16, n. 4, p. 637–645, nov. 2013.

CLIFF, D.; BROWN, D.; TRELEAVEN, P. **Technology Trends in the Financial Markets: A 2020 Vision**. [s.l.] Government Office for Science, 2010.

CVM. **Instrução CVM nº 461**. Rio de Janeiro - RJ, 2007. Disponível em: <<http://www.cvm.gov.br/legislacao/inst/inst461.html>>. Acesso em: 25 mar. 2016

DA ROCHA, G. Autorregulação e poder disciplinar das bolsas de valores, mercadorias e futuros. **Direito & Justiça**, v. 41, n. 2, p. 182–194, 2015.

DAVIS, M.; KUMIEGA, A.; VAN VLIET, B. Ethics, finance, and automation: a preliminary survey of problems in high frequency trading. **Science and engineering ethics**, v. 19, n. 3, p. 851–74, set. 2013.

DEO, R. S.; RICHARDSON, M. On the asymptotic power of the variance ratio test. **Econometric Theory**, v. 19, n. 2, p. 231–239, 2003.

EIZIRIK, N. et al. **Mercado de capitais : regime jurídico**. Rio de Janeiro: Renovar, 2008.

EVANS, T. Efficiency tests of the UK financial futures markets and the impact of electronic trading systems. **Applied Financial Economics**, v. 16, n. 17, p. 1273–1283, 2006.

FAMA, E. Efficient capital markets: A review of theory and empirical work. **The Journal of Finance**, v. 25, n. 2, p. 383–417, 1970.

FEBRABAN. **Pesquisa FEBRABAN de Tecnologia Bancária 2014**, 2014. Disponível em: <[https://www.febraban.org.br/7Rof7SWg6qmyvwJcFwF7I0aSDf9jyV/sitefebraban/Pesquisa FEBRABAN de Tecnologia Bancaria 2014.pdf](https://www.febraban.org.br/7Rof7SWg6qmyvwJcFwF7I0aSDf9jyV/sitefebraban/Pesquisa%20FEBRABAN%20de%20Tecnologia%20Bancaria%202014.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2016

FONSECA, M. DE J. Em torno do conceito de ciência. **Millenium**, p. 39–51, 1996.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDSTEIN, M. A.; KUMAR, P.; GRAVES, F. C. Computerized and high-frequency trading. **Financial Review**, v. 49, n. 2, p. 177–202, 2014.

GOMBER, P. et al. **High-Frequency Trading**. Working Paper. Goethe Universitat, 2011. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=1858626>>. Acesso em: 20 ago. 2015

GOMBER, P.; HAFERKORN, M. High-frequency-trading: High-frequency-trading technologies and their implications for electronic securities trading. **Business and Information Systems Engineering**, v. 5, n. 2, p. 97–99, 2013.

GONÇALVES, R. et al. **A Nova Economia Internacional: Uma Perspectiva Brasileira**. 11<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.

HAGSTRÖMER, B.; NORDÉN, L. The diversity of high-frequency traders. **Journal of Financial Markets**, v. 16, n. 4, p. 741–770, nov. 2013.

HARA, M. O. High frequency market microstructure. **Journal of Financial Economics**, v. 116, n. 2, p. 257–270, 2015.

HASBROUCK, J.; SAAR, G. Low-latency trading. **Journal of Financial Markets**, v. 16, n. 4, p. 646–679, nov. 2013.

HAYATI, D.; KARAMI, E.; SLEE, B. Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural poverty: The case of Iran. **Social Indicators Research**, v. 75, n. 3, p. 361–394, 2006.

HENDERSHOTT, T.; RIORDAN, R. **Algorithmic Trading and Information**. Working Paper, 2009. Disponível em: <[http://people.stern.nyu.edu/bakos/wise/2009/papers/wise2009-3b2\\_paper.pdf](http://people.stern.nyu.edu/bakos/wise/2009/papers/wise2009-3b2_paper.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2014

HIRST, P.; THOMPSON, G.; BROMLEY, S. **Globalization in question**. Third ed. Cambridge: Polity Press, 2009.

IOSCO. **Regulatory Issues Raised by the Impact of Technological Changes on Market Integrity and Efficiency**. Consultation Report, 2011. Disponível em: <<http://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD354.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2015

IOSCO. **Technological Challenges to Effective Market Surveillance Issues and Regulatory Tools**. Consultation Report, 2012. Disponível em: <<https://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD389.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2015

JARROW, R. A.; PROTTER, P. a Dysfunctional Role of High Frequency Trading in Electronic Markets. **International Journal of Theoretical and Applied Finance**, v. 15, n. 3, p. 1250022, maio 2012.

KELLER, A. J. Robocops: Regulating High Frequency Trading After the Flash Crash of 2010. **Ohio St. LJ**, v. 73, p. 1457–1485, 2012.

KRISHNAMURTI, C.; SEQUEIRA, J. M.; FANGJIAN, F. Stock exchange governance and market quality. **Journal of Banking and Finance**, v. 27, n. 9, p. 1859–1878, 2003.

KRUGMAN, P. **The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008**. First ed. New York: W.W. Norton & Company, 2009.

KRUGMAN, P. R.; OBSTFELD, M. **Economia Internacional. Teoria e Política**. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo, SP: Makron Books, 1999.



LARSON, J. B. Globalization: A Rendezvous with Reality. **The Huffington Post**, 25 mai. 2011. Disponível em: <[http://www.huffingtonpost.com/rep-john-b-larson/globalization-a-rendezvou\\_b\\_70636.html](http://www.huffingtonpost.com/rep-john-b-larson/globalization-a-rendezvou_b_70636.html)>. Acesso em: 27 fev. 2016.

LATTEMANN, C. et al. High Frequency Trading. **Business & Information Systems Engineering**, v. 4, n. 2, p. 93–108, 6 mar. 2012.

LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P. **Management Information Systems - Managing the Digital Firm**. THIRTEENTH ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2014.

LEBARON, B. Some Relations Between Volatility and Serial Correlations in Stock Market Returns. **The Journal of Business**, v. 65, n. 2, p. 199–219, 1992.

LEE, E. J. High frequency trading in the Korean index futures market. **Journal of Futures Markets**, v. 35, n. 1, p. 31–51, 2013.

LEE, R. **What is an exchange? The automation, management, and regulation of financial markets**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

LEVITT, T. The globalization of markets. **Harvard Business Review**, p. 92–102, 1983.

LEWIS, M. **Flash Boys: revolta em Wall Street**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.

LITZENBERGER, R.; CASTURA, J.; GORELICK, R. The Impacts of Automation and High Frequency Trading on Market Quality. **Annual Review of Financial Economics**, v. 4, n. 1, p. 59–98, out. 2012.

LO, A. W.; MACKINLAY, A. C. Stock market prices do not follow random walks: Evidence from a simple specification test. **Review of financial studies**, v. 1, n. 1, p. 41–66, 1988.

LOVELESS, J. Barbarians at the gateways. **Communications of the ACM**, v. 56, n. 10, p. 42, out. 2013.

LOVELESS, J.; STOIKOV, S.; WAEBER, R. Online algorithms in high-frequency trading. **Communications of the ACM**, v. 56, n. 10, p. 50, out. 2013.

MADHAVAN, A. Market microstructure: A survey. **Journal of Financial Markets**, v. 3, n. 3, p. 205–258, 2000.

MALKIEL, B. G. The Efficient Market Hypothesis and Its Critics. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 17, n. 1, p. 59–82, 2003.

MANZO, A. **Manual para la preparación de monografías: un guía para presentar informes y tesis**. Buenos Aires: Humanitas, 1971.

MARCONI, M. DE A.; LAKATOS, E. M. **Fundamento de metodologia científica**. 7ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010.

MASSOUDI, A.; STAFFORD, P. Fierce competition forces “flash” HFT firms into new

markets. **Financial Times**, 3 abr. 2014. Disponível em: <<http://www.ft.com/cms/s/0/ac3bdb3a-badf-11e3-8b15-00144feabdc0.html#axzz4G6HvOJMC>>. Acesso em: 1 ago. 2016.

MCINISH, T. H. **Capital markets: a global perspective**. [s.l.] Blackwell Publishing, 2000.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Financial globalization : Retreat or reset?**. [s.l.], 2013. Disponível em: <[http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/GlobalThemes/GlobalCapitalMarkets/Financialglobalization/MGI\\_Financial\\_globalization\\_Full\\_report\\_Mar2013.ashx](http://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/GlobalThemes/GlobalCapitalMarkets/Financialglobalization/MGI_Financial_globalization_Full_report_Mar2013.ashx)>. Acesso em: 16 mar. 2016

MENKVELD, A. J. High frequency trading and the new market makers. **Journal of Financial Markets**, v. 16, n. 4, p. 712–740, nov. 2013.

MOALLEMI, C. C.; SAGLAM, M. OR Forum — The Cost of Latency in High-Frequency Trading. **Operations Research**, v. 61, n. 5, p. 1070–1086, 2013.

PERLIN, M. S. Evaluation of pairs-trading strategy at the Brazilian financial market. **Journal of Derivatives & Hedge Funds**, v. 15, n. 2, p. 122–136, 2009.

PONTUSCHKA, M.; PERLIN, M. A ESTRATÉGIA DE PARES NO MERCADO ACIONÁRIO BRASILEIRO: O IMPACTO DA FREQUÊNCIA DE DADOS. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, v. 16, n. 2, p. 188–213, abr. 2015.

REBOREDO, J. C.; MATÍAS, J. M.; GARCIA-RUBIO, R. Nonlinearity in Forecasting of High-Frequency Stock Returns. **Computational Economics**, v. 40, n. 3, p. 245–264, 2012.

ROSENTHAL, L. An empirical test of the efficiency of the ADR market. **Journal of Banking & Finance**, v. 7, n. 1, p. 17–29, mar. 1983.

ROSS, S. A. et al. **Administração financeira**. 10<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2015.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira: corporate finance**. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SANTANA JUNIOR, E. C. **A finança digitalizada: o papel das tecnologias de informação e comunicação no processo de financerização da economia mundial**. Brasília: Universidade de Brasília, Dissertação (Mestrado em Sociologia), 2014.

SAUNDERS, M.; LEWIS, P.; THORNHILL, A. **Research for business students**. Fifth ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2009.

SAVANI, R. High-Frequency Trading: The Faster, the Better? **IEEE Intelligent Systems**, v. 27, n. 4, p. 70–73, jul. 2012.

SAVOIA, J. R. F. **A globalização do mercado financeiro brasileiro : um estudo de implicações sobre a competitividade**. São Paulo: Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Tese (Doutorado em Administração), 1996.

SEABRA, L. Homem X Máquina. **Valor Econômico**, Disponível em:

<<http://www.valor.com.br/financas/3455242/homem-x-maquina>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

SERBERA, J. P.; PAUMARD, P. The fall of high-frequency trading: A survey of competition and profits. **Research in International Business and Finance**, v. 36, p. 271–287, 2016.

SHAPIRO, M. L. **Speech by SEC Chairman: “Strengthening Our Equity Market Structure”**, 2010. Disponível em: <<https://www.sec.gov/news/speech/2010/spch090710mls.htm>>. Acesso em: 1 jan. 2015

SHLEIFER, A. **Inefficient markets: An introduction to behavioral finance**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. The Limits of Arbitrage. **The Journal of Finance**, v. 52, n. 1, p. 35–55, 18 mar. 1997.

SILVER-GREENBERG, J.; POPPER, N.; MERCED, M. J. D. E. L. A. Trading Program Ran Amok , With No “ Off ” Switch. **The New York Times**, 3 ago. 2012. Disponível em: <[http://dealbook.nytimes.com/2012/08/03/trading-program-ran-amok-with-no-off-switch/?\\_php=true&\\_type=blogs&\\_r=0](http://dealbook.nytimes.com/2012/08/03/trading-program-ran-amok-with-no-off-switch/?_php=true&_type=blogs&_r=0)>. Acesso em: 10 jul. 2015.

SMITH, R. D. **Is high-frequency trading inducing changes in market microstructure and dynamics?**. Working Paper, 28 jun. 2010. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1006.5490>>. Acesso em: 30 jul. 2016

STATA. Run Test. Disponível em: <<http://www.stata.com/manuals13/rruntest.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

SUN, E. W.; KRUSE, T.; YU, M.-T. High frequency trading, liquidity, and execution cost. **Annals of Operations Research**, 25 abr. 2013.

TAVAN, D. **Reg rage: High-frequency trading - Low tolerance for high-frequency trading**The **Banker**, 1 dez. 2012. Disponível em: <<http://go.galegroup.com/ps/i.do?id=GALE%7CA311956493&v=2.1&u=capes&it=r&p=AO NE&sw=w&asid=70d2ddafb1b2fa7d351264462f4e9265>>. Acesso em: 20 jul. 2014

TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO FILHO, E. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. **XXVI ENEGEP**, 2006.

THE GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE. **Foresight: the future of computer trading in financial markets**. Final Project Report, London, 2012. Disponível em: <[https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/289431/12-1086-future-of-computer-trading-in-financial-markets-report.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/289431/12-1086-future-of-computer-trading-in-financial-markets-report.pdf)>. Acesso em: 20 maio. 2014

THOMAZ, D. Velocidade Controversa. **Capital Aberto**, p. 38–41, fev. 2013.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística: atualização da tecnologia**. Rio de Janeiro:

LTC, 2013.

U.S. SEC. Concept Release on Equity Market Structure. **Federal Register**, v. 75, n. 13, p. 3594–3614, 21 jan. 2010.

U.S. SEC. **Equity Market Structure Literature Review Part II: High Frequency Trading**. Working Paper, 2014.

VANSTONE, B.; HAHN, T. Data Characteristics for High-Frequency Trading Systems. In: GREGORIOU, G. N. (Ed.). . **The Handbook of High Frequency Trading**. London: Elsevier, 2015. p. 47–57. Chapter 3.

VERVLOET, W.; GARCIA, M. Incentivo perverso das reservas internacionais: o caso das empresas exportadoras brasileiras. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**, v. 102, p. 67–82, 2010.

VUORENMAA, T. A. The good, the bad, and the ugly of automated high-frequency trading. **The Journal of Trading**, v. 8, n. 1, p. 58–74, 2013.

WANG, H.; YU, Y.; LI, M. On Intraday Shanghai Stock Exchange Index. **Journal of Data Science**, v. 8, n. 3, p. 413–427, 2010.

WORSTALL, T. Relax Everyone, The High Frequency Trading Problem Is Over. **Forbes**, 26 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.forbes.com/sites/timworstall/2015/01/26/relax-everyone-the-high-frequency-trading-problem-is-over/#67d6dc4b7a84>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

YAZBEK, O. **Regulação do Mercado Financeiro e de Capitais**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

ZINK, E.; SELMIER, W. T. High frequency trading and dark pools: An interview with John Succo. **Business Horizons**, v. 56, n. 6, p. 715–722, nov. 2013.

ZUNINO, L. et al. On the efficiency of sovereign bond markets. **Physica A**, v. 391, n. 18, p. 4342–4349, 2012.