

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**  
**Departamento de Informática**

**Bruno Lourenço Vidotto da Mata**  
**Gabriel Alves da Silva**

**HIGH FREQUENCY TRADING (HFT):**  
**Conceitos, custos e rentabilidade nas operações de Dólar Futuro**

**Taubaté – SP**  
**2021**

**Bruno Lourenço Vidotto da Mata**  
**Gabriel Alves da Silva**

**HIGH FREQUENCY TRADING (HFT):**  
**Conceitos, custos e rentabilidade nas operações de Dólar Futuro**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para aprovação no curso de Bacharel em Engenharia da Computação, do Departamento de informática Universidade de Taubaté.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. M<sup>a</sup>. Vilma da Silva Santos

**Taubaté – SP**  
**2021**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI  
Universidade de Taubaté - Unitau**

M425h Mata, Bruno Lourenço Vidotto da  
High Frequency Trading (HFT): Conceitos, custos e rentabilidade nas  
operações de Dólar Futuro / Bruno Lourenço Vidotto da Mata, Gabriel Alves  
da Silva. -- 2021.  
120 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de  
Informática, 2021.

Orientação: Profa. Ma. Vilma da Silva Santos, Departamento de Gestão  
e Negócios.

Coorientação: Prof. Me. Luis Fernando Almeida, Departamento de  
Informática.

1. Mercado Financeiro. 2. Mercado Futuro. 3. Bolsa de valores.  
4. Negociações de alta frequência. 5. Dólar comercial. I. Silva, Gabriel  
Alves da. II. Graduação em Engenharia de Computação. III. Título.

CDD – 332.6

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**BRUNO LOURENÇO VIDOTTO DA MATA**  
**GABRIEL ALVES DA SILVA**

**HIGH FREQUENCY TRADING (HFT):**  
**um estudo das oscilações de preços do mercado futuro de dólar comercial**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para aprovação no curso de Bacharel em Engenharia da Computação, do Departamento de informática Universidade de Taubaté.

Data: 09 / 12 / 2021

Resultado: APROVADO

**BANCA EXAMINADORA**

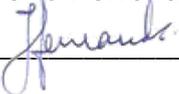
Prof.<sup>a</sup> M<sup>a</sup>. Vilma da Silva Santos

Universidade de Taubaté

Assinatura:   
Vilma da Silva Santos

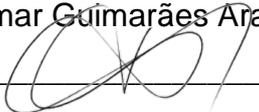
Prof. Dr. José Alberto Ferreira Fernandes

Universidade de Taubaté

Assinatura: 

Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo

Universidade de Taubaté

Assinatura: 

*Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos  
que sempre nos apoiaram e sempre estiveram ao  
nosso lado nas horas mais difíceis e felizes da vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

A nossa querida e prezada orientadora Prof.<sup>a</sup> M<sup>a</sup>. Vilma da Silva Santos, pela toda dedicação, paciência, compreensão e amizade.

Ao Prof. Dr. José Alberto Ferreira Fernandes e Prof. Me. Dawilmar Guimarães Araújo, pela paciência e conselhos durante o desenvolvimento do trabalho.

A Raphael Fortez Maaz, Chow; Boutros; Grady e Abbas, por disponibilizarem os trabalhos que suplementaram essa monografia.

*“Um dia, quando olhares para trás, verás que os dias  
mais belos foram aqueles em que lutaste. ”*

*Sigmund Freud*

## RESUMO

O *High Frequency Trading* (HFT) é uma técnica de negociação baseada em algoritmos, que utiliza tecnologias sofisticadas de processamento de informação com rapidez na comunicação com os sistemas dos mercados em que atuam implementando estratégias variadas no mercado de capitais. É um processo de negociação que pode ou não resultar na conclusão de operações, dependendo das condições de oferta e demanda existentes durante a execução do programa, a qual se dá comumente sem nenhuma intervenção humana. O trabalho teve por objetivo demonstrar por meio de um estudo de caso realizado por Maaz (2018), quais os gastos iniciais para operar um *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência nas operações do mercado futuro de dólar, por meio da análise das oscilações da variação da taxa Cambial entre Reais (BRL) e Dólar dos Estados Unidos da América (USD) ao longo do dia, as chamadas *day trade*, e qual o retorno médio esperado. Para isso, realizou pesquisa bibliográfica exploratória apoiada coleta de dados de duas pesquisas; de Maaz em 2018 e na de Chow; *et al.* em 2017, para subsidiar o estudo de caso realizado. Considerou-se que, as negociações nas bolsas de valores com a utilização do HFT, permite que elas ocorram de maneira automática, gerando condições específicas e em prazos curtíssimos, realizar inúmeras operações de compra e venda de ativos. Com isso, cada fração de segundo pode influenciar os lucros obtidos nas operações, dada as pequenas variações nos preços, e dessa forma, os investidores ou negociadores conseguem otimizar o tempo e aumentar a eficiência das operações, resultando em lucros com pequenas variações de preços.

**Palavras-chave:** Investidores Do Mercado Financeiro. Mercado Futuro. Bolsas de valores. Negociações de alta frequência. Mercado futuro de dólar comercial.

## ABSTRACT

High Frequency Trading (HFT) is a trading technique based on algorithms, which uses sophisticated information processing technologies to communicate quickly with the systems of the markets in which they operate, implementing different strategies in the capital market. It is a negotiation process that may or may not result in the conclusion of operations, depending on the supply and demand conditions existing during the execution of the program, which usually happens without any human intervention. The work aimed to demonstrate, through a case study carried out by Maaz (2018), which are the initial expenses to operate a High Frequency Trading (HTF) or High Frequency Trading in dollar futures market operations, through the analysis the fluctuations in the variation of the exchange rate between Reais (BRL) and the United States of America (USD) throughout the day, the so-called day trades, and what is the expected average return. For this, it carried out exploratory bibliographic research supported by the collection of data from two surveys; from Maaz in 2018 and from Chow; et al. in 2017, to support the case study carried out. It was considered that trading on the stock exchanges using the HFT allows them to occur automatically, generating specific conditions and in very short terms, to carry out numerous asset purchase and sale operations. Thus, every fraction of a second can influence the profits obtained in the operations, given the small variations in prices, and in this way, investors or traders can optimize time and increase the efficiency of operations, resulting in profits with small price variations.

**Keywords:** Financial Market Investors. Future Market .Stock exchanges. High Frequency Trading. Trading dollar futures market.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pregão da bolsa de valores no final dos anos de 1990 .....	31
Figura 2 - Estratégias empregadas com o HFT.....	33
Figura 3 – Diagrama de blocos do switch customizado da rede .....	72
Figura 4 – Diagrama de blocos do codificador/decodificador FAST.....	74
Figura 5 – Rotina de inserção para livro de pedidos baseado em heap.....	75
Figura 6 – Diagrama de blocos do manuseio do livro de ofertas.....	76
Figura 7 – Fluxo de integração do sistema .....	78

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Participação no volume negociado total de investidores de alta frequência no Brasil .....	29
Gráfico 2 - Números de robôs de negociação na alta frequência no mercado de ações americano.....	27
Gráfico 3 - Participação e receitas do HFT nos Estados Unidos e Europa .....	28
Gráfico 4 – Participação de HFT nas operações no segmento BM&F .....	47
Gráfico 5 – Série histórica de lucro de investidores que usa estratégias de HFT. ....	51
Gráfico 6 – Série histórica de lucro de investidores que usa estratégias de HFT por real negociado.....	51
Gráfico 7 – Nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT ..	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Determinantes de nível de participação diária de investidores que utilizam estratégias de HFT .....	40
Tabela 2 - Determinantes de nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT (coeficientes padronizados) .....	41
Tabela 3 – Nível de participação de investidores que utilizam estratégias HFT .....	55
Tabela 4 – Valores diários médios de HFT .....	60
Tabela 5 – Sumário de trabalhos anteriores .....	68
Tabela 6 – Camada parcial de protocolo financeiro .....	73
Tabela 7 – Relatório de utilização de recursos FPGA financeiro .....	80
Tabela 8 – Resultados de tempo FPGA.....	81
Tabela 9 – Quebra de latência (latency breakdown) .....	82
Tabela 10 - Comparação de latência de trabalhos prévios .....	82
Tabela 11 - Canais por tipo de mercado (valores para clientes nacionais-out./21) ...	96
Tabela 12 - Valores referentes a unidades de hospedagem (out./21).....	97
Tabela 13 – Valores para VPNs (out./21).....	98
Tabela 14 – Valores para serviços especializados (out./21) .....	99
Tabela 15 – Valores para negociação em outubro de 2021 .....	99
Tabela 16 – Emolumentos e taxa de registro – componente fixo e variável -dólar futuro (out./21).....	100

## LISTA DE SIGLAS

ADV	<i>Average Daily Volume</i> (Volume Médio Diário)
ASICs	<i>Application Specific Integrated Circuits</i> (Circuitos Integrados de Aplicação Específica)
BATS	<i>Better Alternative Trading Systems</i> (era uma bolsa com sede nos Estados Unidos)
BRAM	<i>Bloc On-chip RAM</i> (Memória embutida)
B3	Brasil, Bolsa, Balcão (Bolsa de Valores oficial do Brasil)
BI	<i>Business Intelligence</i> (Inteligência de Negócios)
BM&F	Bolsa de Mercadorias & Futuro
BOVESPA	Bolsa de Valores de São Paulo
BRL	Real Brasileiro (referência a câmbio)
CFTF	<i>Commodity Futures Trading Commission</i> (Comissão de Negociação de Contratos Futuros de Commodities)
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
CVM	Comissão de Valores Imobiliários
DOL	Contrato Padrão de Dólar futuro
DOLFUT	Dólar Futuro
DRAM	<i>Dynamic Random-Access Memory</i> (Memória Dinâmica de Acesso Aleatório)
ELP	<i>Electronic Liquidity Provision</i> (Provedor Eletrônico de Liquidez)
EOD	<i>End Of Day</i> (Fim do Dia)
ETF	<i>Exchange Traded Fund</i> (Fundo de Índice)
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i> (Matriz de Portas Programáveis)
GPU	<i>Graphics Processing Unit</i> (Unidade de Processamento Gráfico)
HFT	<i>High Frequency Trading</i> (Negociações de Alta Frequência).
HLS	<i>High Level Synthesis</i> (Síntese de Alto Nível)
IA	Inteligência Artificial
IBOV	Índice da Bolsa de Valores de São Paulo
ID	<i>Identity</i> (Identidade)
I/O	<i>Input/Output</i> (Entrada e Saída)

INDFUT	Índice Futuro
IP	Internet Protocol (Protocolo da Internet)
IPO	<i>Initial Public Offering</i> (Oferta Pública Inicial)
ISS	Imposto Sobre Serviços
JSON	<i>Java Script Object Notation</i> (Notação de Objeto Javascript)
MHz	Mega-Hertz
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
NASDAQ	<i>National Association of Securities Dealers Automated Quotations</i> (um mercado de ações automatizado norte-americano)
PCIe	<i>Peripheral Component Interconnect Express</i> (Interconector de Componentes Periféricos)
PIS	Programas de Integração Social
PL	Participante de Liquidação
PNP	Participante de Negociação Pleno
PSA	Participante pelo Serviço de Atendimento
PSG	Provedor de Serviços Gerenciados
PTAX	Taxa de câmbio utilizada como referência para a cotação do dólar
PUMA	Plataforma Unificada Multiativos
RTL	<i>Register Transfer Level</i> (Nível de Transferência de Registro)
SEC	<i>Securities and Exchange Commission</i> (Comissão de Valores Mobiliários)
SQL	<i>Structured Query Language</i> (Linguagem de Consulta Estruturada)
TS	<i>Trading System</i> (Sistema de Negociação)
TXT	<i>Text</i> (texto)
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> (Protocolo de Datagrama do Usuário)
USD	<i>United States Dollar</i> (Dólar dos Estados Unidos da América)
VPN	<i>Virtual Private Network</i> (Rede Privada Virtual)
WDO	Minicontrato de dólar futuro
XML	<i>EXtensible Markup Language</i>

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
LISTA DE SIGLAS .....	12
1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Problema .....	18
1.2 Objetivos do trabalho .....	18
1.2.1 Objetivo geral .....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 Delimitação do trabalho.....	19
1.4 Importância do trabalho.....	20
1.5 Metodologia de pesquisa.....	21
1.5.1 Coleta de dados .....	22
1.5.2 Estudo de caso de Maaz (2018) e de Chow; <i>et al.</i> (2017).....	23
1.6 Organização do trabalho .....	24
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	25
2.1 Definição do <i>High Frequency Trading</i> (HFT) ou Negociações de Alta Frequência .....	25
2.1.1 O surgimento do HFT no mundo .....	25
2.1.1 A presença do HFT no mercado americano nos mercados europeus .....	265
2.1.2 O contexto do HFT no mercado brasileiro.....	287
2.1.3 Principais características do HFT .....	30
2.2 Negociação eletrônica, algorítmica e algorítmica de alta frequência.....	30
2.2.2 Atuação dos algoritmos e dos HFTs .....	32
2.2.3 Estratégias comuns implementadas com o HFT .....	33
2.2.3.1 Estratégias passivas.....	35
2.2.3.2 Arbitragem.....	36
2.2.3.3 Estratégias direcionais .....	36
2.3 Determinantes no desempenho do HFT.....	38

2.4 Determinantes de nível de participação diária de investidores que utilizam estratégias de HFT .....	39
2.5 A regulação/legislação do mercado de HFT.....	42
2.6 Tipos de robôs que negociam no HFT .....	43
2.6.1 Black Box .....	44
2.6.2 White Box .....	45
2.6.3 Proprietárias.....	45
3 O <i>HIGH FREQUENCY TRADING</i> (HFT) NAS OPERAÇÕES DE <i>DAY TRADE</i> DA BOLSA DE VALORES BRASILEIRA .....	46
3.1 As operações <i>High Frequency Trading</i> (HFT) no Brasil.....	46
3.1.1 Rentabilidade da prática de HFT .....	48
3.2 O HFT nas operações do Dólar Futuro (DOLFUT) da bolsa de valores.....	52
3.2.1 Influência do HFT nas oscilações de preços dos ativos.....	53
3.3 Importância de HFT no nível de atividade de mercado .....	54
3.4 Nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT no mercado de Dólar Futuro .....	56
3.4.1 Comportamento dos investidores que adotam estratégias de HFT.....	58
3.5 O HFT e sua influência na liquidez do mercado.....	60
4 IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO HFT EM UM FPGA.....	62
4.1 FPGA.....	63
4.2 Linguagens de programação para o desenvolvimento de algoritmos de alta frequência.....	65
4.3 Trabalhos prévios usando FPGAs.....	67
4.4 Arquitetura do sistema .....	70
4.4.1 Camada de rede.....	71
4.4.2 Camada de análise de protocolo financeiro .....	73
4.5 Resultados experimentais .....	79
5 ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS DE ALTA FREQUÊNCIA NA BOLSA DE VALORES .....	84
5.1 Mercado Futuro .....	84
5.2 Dólar Futuro .....	85
5.3 Dimensionando o investidor que opera dólar futuro .....	86
5.4 Delimitação do estudo de caso .....	88
5.5 O operador de HFT no estudo de caso .....	89

5.6 <i>Co-location</i> na B3.....	91
5.7 Custos de um operador de HFT .....	93
5.7.1 Custos dos dados numéricos .....	94
5.7.2 Custos do <i>hardware</i> .....	96
5.7.3 Custos do <i>Co-location</i> na B3.....	97
5.7.4 Custos das taxas e emolumentos .....	100
5.7.5 Investimento total .....	102
5.8 Estimativas de retornos financeiros.....	104
5.9 Discussão dos resultados.....	107
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	109
REFERÊNCIAS.....	111

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de capital está sempre em destaque por serem pioneiros na adoção de novas tecnologias e à medida que elas se tornam disponíveis e amplamente adotadas, as operações até então efetuadas, são alteradas e novas tecnologias são introduzidas.

Em geral, mudanças como implementação do sistema eletrônico de negociação de ativos e utilização de sistemas de negociação automatizados, causadas pela adoção de novas tecnologias podem alterar significativamente, uma vez que busca o equilíbrio dos mercados, trazendo a necessidade de alterações na estrutura legal em que estes operam.

Em sua essência, as novas tecnologias trouxeram uma diferenciação das tradicionais técnicas de negociação e atingiram altos níveis de informatização devido o crescente uso de computadores que, conectados diretamente ao sistema das bolsas, passaram a realizar transações em tempo real, fazer análises técnicas das oscilações de preços, análises fundamentalistas cada vez mais sólidas e abrangentes (ADLER, 2014).

Com o aumento dos algoritmos automatizados operando nas bolsas de valores, o regulador do mercado financeiro norte-americano *Securities and Exchange Commission* (SEC)<sup>1</sup>, buscou normatizar a automatização total do processo de transação, de forma a alcançar maior rapidez na tomada de decisão (ARMOUR, 2016).

E assim, determinou a utilização de algoritmos e do recurso à negociação em alta frequência, uma prática conhecida nos mercados de capitais como *algorithmic trading*, na qual são utilizados algoritmos sofisticados, baseados em computadores dispensam a presença de operadores humanos.

No *algorithmic trading* um subgrupo de algoritmos se destaca pela característica de gerar um grande volume de ordens diariamente: o *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência (ALDRIDGE, 2013).

---

<sup>1</sup> ***Securities and Exchange Commission (SEC)*** ou Comissão de Valores Mobiliários (CVM), é uma agência federal dos Estados Unidos que detém a responsabilidade primária pela aplicação das leis de títulos federais e a regulação do setor de valores mobiliários, as ações da nação e opções de câmbio, e outros mercados de valores eletrônicos nos Estados Unidos.

O HFT, utilizam tecnologias sofisticadas de processamento de informação que trazem rapidez a comunicação entre os sistemas dos mercados em que atuam, em uma escala de tempo medida na ordem de milissegundos ou microssegundos (ALDRIDGE, 2013).

De forma resumida, pode-se dizer que o HFT é um tipo de negociação que opera por meio de robôs, isto é, com uso de computadores com algoritmos complexos, que fazem um grande número de pedidos em velocidades extremamente altas, pelo fato de realizarem várias operações em curtíssimos intervalos de tempo em um mesmo pregão (ADLER, 2014).

E, mesmo os HFT's sendo protagonistas no mercado tem apresentado crescimento expressivo e o tema ganhou notoriedade da mídia especializada e no radar dos principais mercados mundiais, mesmo havendo pouca literatura acadêmica que possam analisar e descrever a influência do algorithmic trading e do HFT nos mercados de capitais. E, em português, é ainda mais escassa (ADLER, 2014).

Nesse contexto, este trabalho busca apresentar os HFT's, como um tema para o meio acadêmico, visando novos conhecimentos e discussões no intuito de deixá-lo ser meramente superficial.

## **1.1 Problema**

Como já mencionado, o *High Frequency Trading* (HFT) se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos.

Portanto, visando entender como funciona a utilização dos HFT's e as diferenças das outras estratégias do mercado, o trabalho questiona: onde o algoritmo pode ser instalado, qual a forma de utilização, de funcionamento, bem como dos benefícios e possível rentabilidade oferecida pelo uso de algoritmos de alta frequência nas operações da Bolsa de Valores tendo como referência as oscilações da taxa Cambial entre Reais (BRL) e Dólar dos Estados Unidos da América (USD) ao longo do dia?

## **1.2 Objetivos do trabalho**

### 1.2.1 Objetivo geral

Demonstrar por meio de um estudo de caso realizado pelos autores desse trabalho, quais os gastos iniciais para operar um *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência nas operações do mercado futuro de dólar, e, baseado nos resultados de rentabilidade publicados por Maaz (2018), estimar o retorno médio esperado.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para contribuir com o objetivo geral, o mesmo foi desmembrado em objetivos específicos, como descritos a seguir:

- Entender a importância da utilização de novas ferramentas tecnológicas nas bolsas de valores;
- Caracterizar os HFT's e as principais negociações que fazem;
- Compreender como a utilização dos HFT's podem beneficiar o mercado financeiro por melhorar a eficiência e aumentar a liquidez;
- Demonstrar como a escolha do hardware pode influenciar diretamente no desempenho do algoritmo.

### 1.3 Delimitação do trabalho

O trabalho limita-se na análise da utilização da HFT no *day trade* visando os gastos iniciais para operar um algoritmo de alta frequência e sua possível rentabilidade em variações de ativos ao longo do dia, utilizando assim, as operações de *intraday*, que são iniciadas e finalizadas no mesmo pregão e no mesmo dia, o que significa que o negociador não vai possuir o ativo negociado em sua custódia no fim do pregão, apesar de ter negociado durante o mesmo.

O ativo a ser pesquisado refere-se ao Dólar Futuro (DOLFUT), um contrato derivativo que permite a negociação da expectativa de preço da Taxa de variação Cambial entre Reais (BRL) e Dólar dos Estados Unidos da América (USD) dentro Bolsa de Valores de São Paulo (IBOV), além do alto volume de negociação e alta volatilidade e possibilidade de alta alavancagem.

Com relação ao período de pesquisa, deu-se entre 22/05/2017 a 14/06/2018, período em que Maaz estudou para obter os dados referentes a utilização dos algoritmos HFT no dólar futuro. Com relação aos gastos estimados, os dados foram obtidos em novembro de 2021.

#### 1.4 Importância do trabalho

De forma resumida, pode-se dizer que o HFT é um tipo de negociação que opera por meio de robôs, isto é, a negociação se dá em uma plataforma automatizada, utilizada, em geral, por grandes bancos de investimento e investidores institucionais (MAZZONI, 2012).

Ela é realizada por computadores com algoritmos complexos, que fazem um grande número de pedidos em velocidades extremamente altas e realizam várias operações em curtíssimos intervalos de tempo em um mesmo pregão (MAZZONI, 2012).

Os robôs de investimento, permitem que os investidores executem milhões de pedidos e digitalizem vários mercados e trocas em um espaço de tempo de segundos ou milissegundos buscando realizar vários *trades* automatizados por dia (CVITANIC; KIRILENKO, 2010).

A ideia desse tipo de negociação é buscar várias operações de curtíssimo prazo em um mesmo pregão, com retornos baixíssimos, cerca de dois ou três centavos por *trade*. Para tal, utiliza-se um *Trading System* (TS) que são ferramentas para analisar e operar sistematicamente o mercado financeiro e que são replicados sobre os ativos (CVITANIC; KIRILENKO, 2010).

Este padrão de negócio pode ser baseado nas mais diversas estratégias, como (ISMAR, 2021; CAVALCANTI, 2013):

- **spread capture:** que simula o papel de um formador de mercado tradicional, ganhando com a diferença de preço entre a oferta e procura;
- **arbitragem:** que identificam pequenas margens de correção entre instrumentos financeiros e realizam negociações antes que o mercado equipare os valores; e
- **cross asset, cross market & exchange traded fund arbitrage:** que busca negociar ativos entre os mercados financeiros, não apenas os de capitais ou negocia ativos relacionados se aproveitando de ineficiências entre os

mercados. Se um ativo apresenta diferença de preços entre os mercados, ele é comprado no mercado onde seu preço é menor e é vendido onde sua cotação é maior.

High Frequency Trading, é um tema nebuloso hoje em dia no Brasil, existe pouca literatura disponível em português e poucos estudos visando o uso de algoritmo de alta frequência na bolsa de valores brasileira. Além disso, investidores brasileiros não tem ideia de qual pode ser o investimento inicial, qual o capital de giro necessário, qual a possível rentabilidade e onde o software pode ser instalado. Logo a importância desse trabalho mostra e busca explicar conceitos simples e avançados relacionados a High Frequency Trading e esclarecer os pontos citados acima através da tradução de um artigo americano escrito por Chow (2017) e através da criação de um estudo de caso, onde os autores desse trabalho orçam um investimento inicial e calculam a possível rentabilidade baseada nos valores apresentados no trabalho de Maaz (2018).

## 1.5 Metodologia de pesquisa

A metodologia de pesquisa nada mais é do que a descrição do seu processo de pesquisa, isto é, a definição de quais procedimentos serão utilizados para a coleta e para a análise dos dados levantados (ZANELLA, 2013). Isso quer dizer ela visa construir um procedimento de pesquisa adaptado às necessidades e objetivos propostos no trabalho.

A metodologia da pesquisa científica pode ser classificada observando os seguintes itens (ZANELLA, 2013):

- **Quanto a abordagem:** é considerada quantitativa, por ser centrada na objetividade da análise de dados coletados no *site* da Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&FBovespa) e suplementados de estudos realizados por Maaz (2018) e por Chow; *et al.* (2017).
- **Quanto aos objetivos:** é exploratória, pois é feita quando se quer estudar o novo, desconhecido ou pouco conhecido, como o tema estudado, o HFT, e a partir disso, popularizar o assunto e criar outros estudos.
- **Quanto as fontes de dados:** é classificada como bibliográfica, uma vez que se utilizou de artigos disponibilizados na internet sobre o tema HFT, além de pesquisas no site da BM&FBovespa.

- **Quanto aos procedimentos:** adotou-se o estudo de caso de Maaz (2018) e de Chow; *et al.* (2017), para obter respostas assertivas e dessa forma, responder aos questionamentos do trabalho..

### 1.5.1 Coleta de dados

Como já informado, o conjunto de dados utilizado na realização da análise foi obtido a partir de informações disponibilizadas ao público pela bolsa de valores B3, referentes a valores de produtos como: pacotes de dados pagos, unidades de hospedagem na rede interna da B3, entre outros serviços como VPN, serviços especializados, valores referentes a negociação, taxa de registro e emolumentos.

Além da pesquisa de Maaz (2018), a coleta de informações deste trabalho que até o dia 29/05/2020 eram disponibilizadas gratuitamente ao público pela bolsa de valores B3, através do servidor FTP<sup>2</sup>, sofreu alterações e após 29/06/2020, os dados deixaram de ser gratuitos e passaram a ser disponibilizados por meio do servidor UP2Data<sup>3</sup> e UP2Data *On Demand*<sup>4</sup>), sobre operações realizadas na bolsa de valores entre as 9h30 e 17h30 de todos os dias úteis compreendidos entre 22/05/2017 e 14/06/2018.

As observações descritas nesse trabalho são baseadas nas pesquisas e relatos de Maaz (2018) no qual corresponde a uma operação e contém informações sobre:

- o símbolo atribuído pela B3 ao instrumento envolvido na operação;
- o número de identificação da operação emitido pela B3;
- a data em que a operação foi realizada;
- a hora em que a operação foi realizada com precisão em milissegundos;
- o número de títulos envolvidos na operação;

---

<sup>2</sup> **FTP:** Antigo servidor da B3 que disponibilizava diariamente dados como histórico de preço, histórico de operações, posições em aberto, dados dos negócios, entre outros, referentes a operações realizadas na bolsa de valores.

<sup>3</sup> **Up2Data:** loja online que oferece informações de fechamento de diferentes mercados, de forma simples e eficiente. Os dados são transmitidos através de um software e disponibilizados de acordo com o fechamento de cada mercado, com entrega monitorada.

<sup>4</sup> **Up2Data On Demand:** é a loja online de dados históricos de negociação da B3, criada para fornecer informações relevantes e confiáveis aos nossos clientes do mercado financeiro, pesquisadores acadêmicos e outros interessados, enriquecendo suas bases de dados e favorecendo análises mais precisas. A loja vai contribuir para a elaboração de análises de mercado variadas, tais como análises preditivas, análises de risco, estratégias de investimentos, modelos econômicos e estudos acadêmicos.

- o preço expresso em unidades de reais brasileiros por unidade de dólar americano;
- um indicador utilizado para sinalizar a condição da oferta de venda; e
- um indicador utilizado para sinalizar a condição da oferta de compra.

Menciona-se ainda que os indicadores de condição das ofertas de compra e venda podem assumir os seguintes valores:

- zero (0), no caso de uma oferta neutra, que se refere a uma ordem lançada no mercado que não fecha com uma ordem existente;
- um (1), no caso de uma oferta agressora, ou seja, uma ordem que ingressa no mercado para fechar com uma oferta existente; ou
- dois (2), no caso de uma oferta agredida, isto é, uma ordem existente que é fechada com uma oferta agressora.

### 1.5.2 Estudo de caso de Maaz (2018) e de Chow; *et al.* (2017)

Este trabalho apoiou-se primeiramente na pesquisa de Maaz<sup>5</sup> realizada em 2018, no qual extraiu os registros referentes a operações que envolveram contratos futuros de dólar americano com vencimento no primeiro dia útil do mês subsequente.

A cotação acordada nas operações é expressa no conjunto de dados em termos de unidades da moeda brasileira R\$ (reais) por dólares americanos, correspondendo a US\$ 1.000,00.

E cada contrato futuro de taxa de câmbio por Dólar comercial dos Estados Unidos envolve USD 50.000,00, sendo assim, o valor em dólares dos Estados Unidos de cada operação é dado pelo produto entre o número de instrumentos negociados, pelo tamanho de cada contrato, a uma dada taxa de câmbio (em unidades de BRL por uma unidade de USD) e que é acordada pelas partes envolvidas. No geral ela é dada pela divisão do preço tal como visto no conjunto de dados por 1.000.

---

<sup>5</sup> MAAZ, Raphael Fortes. **A atividade de negociações algorítmicas de alta frequência no mercado brasileiro de dólar futuro**. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia e Finanças da Fundação Getúlio Vargas/EESP. São Paulo, 2018. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/24594/Dissertation\\_20180821\\_RFM.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/24594/Dissertation_20180821_RFM.pdf?sequence=3&isAllowed=y)>.

No segundo estudo, este trabalho apoia-se na pesquisa de Chow; *et al.* (2017)<sup>6</sup>, intitulado de “Build fast, trade fast: FPGA-based high-frequency trading using high-level synthesis”, afim de demonstrar a utilização de um algoritmo HFT em uma placa FPGA.

## 1.6 Organização do trabalho

O trabalho está organizado em quatro seções.

A primeira consiste na introdução, apresenta o problema de pesquisa, os objetivos geral e específico, a delimitação, a importância, a metodologia e sua organização;

Já a segunda seção apresenta a revisão da literatura;

A terceira seção faz um levantamento da utilização do HFT nas operações da bolsa de valores brasileira;

A quarta exemplifica a utilização de um algoritmo HFT em um FPGA;

A quinta faz um estudo de caso, exemplificando um cenário de possíveis gastos e retornos financeiros utilizando um algoritmo HFT; e

A sexta e última seção é composta pelas considerações finais do trabalho.

---

<sup>6</sup> CHOW, Paul; *et al.* **Build fast, trade fast: FPGA-based high-frequency trading using high-level syndrome**. 2017. In: International Conference on ReConfigurable Computing and FPGAs (ReConFig), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109 / RECONFIG. 2017.8279781. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8279781/references#references>>.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Definição do *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência

O *High Frequency Trading* (HFT) é um conceito associado ao *algorithmic trading*<sup>7</sup>, e ambos são considerados instrumentos que monitoram o mercado em tempo real, tomam medidas conforme os dados apurados, os parâmetros fornecidos e executam de forma automática as operações. Junto a isso, a única atuação humana é fornecer prontamente os parâmetros para o sistema realizar (AHLSTEDT 2012).

Nesse contexto, os HFT's são definidos como um meio eletrônico de comandos, que usufrui de algoritmos personalizados para suas tomadas de decisões.

#### 2.1.1 O surgimento do HFT no mundo

Smith (2010) descreve que em meados dos anos de 1960, o mercado acionário americano, negociava entre dez e doze milhões de ações por dia. E para utilizavam um sistema baseado em registro de papéis que mostrava a transação realizada, dessa forma, os corretores se sobrecarregavam devido à grande e significativa quantidade de operações negociadas, juntando com a inaptidão do processo, causava um considerável montante de erros e rotineiras perdas financeiras.

Em decorrência disso, ocorreu a *paperword crisis* (crise dos papéis, em português) que em virtude de sua grande consequência gerada, fez que a New York Stock Exchange (NYSE) ou Bolsa de Valores de Nova Iorque fechasse as portas em uma quarta-feira e reduzisse o horário para negociações, para que se pudesse dar conta do excesso de documentação que o número de transações tinha como resultado (SMITH, 2010).

---

<sup>7</sup> **Algorithmic trading** é um sistema de negociação que utiliza modelos matemáticos avançados e complexos e fórmulas para tomar decisões e transações de alta velocidade nos mercados financeiros.

Por esse evento, conforme NYSE (2009), algum tempo após, acabou como resultado a criação do primeiro sistema informatizado de roteamento de transação, também conhecido como DOT<sup>8</sup> na bolsa de Nova Iorque.

No contexto do surgimento das transações automatizadas, a busca por ganhos, vários perfis, formas distintas de análises e estratégias foram utilizadas e desenvolvidas. Como exemplos de alguns tipos específicos de perfis atuantes no mercado, tem-se os que almejam auferir rendimentos nos chamados *daytraders* de mercados, que são caracterizados por lucrar em questão de segundos, horas e até mesmo, com a oscilação de um dia de operação (FERNANDES, 2015).

Quanto a algumas maneiras de análises, existe quem estuda de forma fundamentalista, por meio de um estudo e análises, seja ela; econômica, financeira e mercadológica da empresa a qual planeja comprar, tomando assim, uma melhor decisão (FERNANDES, 2015).

Devido a esse contexto contemporâneo de adesão aos sistemas de *trading* eletrônico que tem crescido anualmente em todo mundo, o chamado HFT foi desenvolvido nos anos de 1990 e foi sendo incorporado cada vez mais no cotidiano das bolsas de valores (FERNANDES, 2015).

Tal modernização diminuiu o tempo que é necessário para o envio e recebimentos de informações para os negociadores, a fim de manejar ordens enviadas pelos mesmos (FERNANDES, 2015).

Deste modo, foi elaborado este novo tipo de investidor; o de alta frequência e conta com características de estratégias a qual respondem as movimentações do mercado em apenas milésimos de segundos.

O HFT vem ganhando cada vez mais participação no mundo inteiro, contudo, no Brasil, ainda não é muito comum, se comparado aos Estados Unidos e a Europa (REIS, 2019).

### **2.1.1 A presença do HFT no mercado americano nos mercados europeus**

Em meados dos anos de 1990, em *Wall Street*, o sistema do mercado financeiro norte-americano, contava com o processo de ascensão no mercado por meio de um

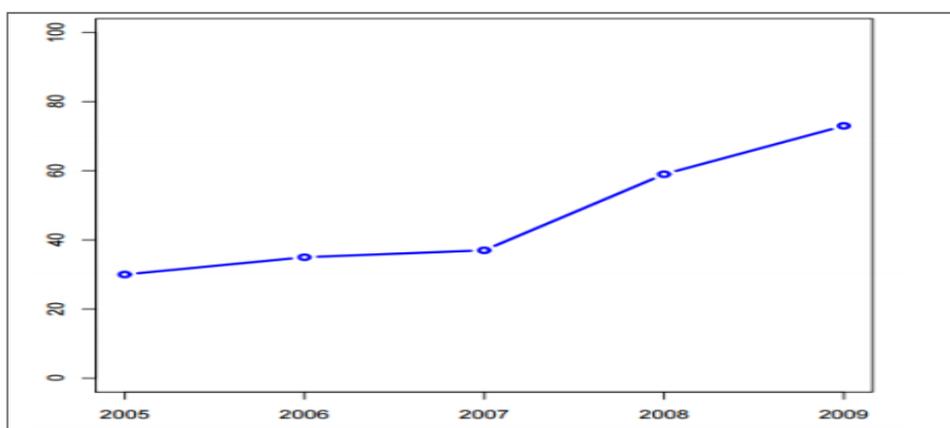
---

<sup>8</sup> **DOT (SuperDOT)** era o sistema eletrônico usado pela Bolsa de Valores de Nova York para direcionar pedidos de mercado e limitar pedidos de investidores ou de seus agentes a um especialista localizado no pregão da bolsa.

sistema informatizado e automatizado, o HFT, que proporcionava operações com latências cada vez menores (TADIELLO, 2016).

De acordo com Smith (2010), nos anos 2000, foi acrescentada uma casa decimal nos preços comercializados das ações, sendo permitida uma redução na diferença dos preços de comercialização.

O HFT entre os anos de 2005 e 2009, segundo estimativas, chegou a representar 60% dos negócios com ações nos Estados Unidos e cerca de 30% e 50% na Europa e estudos recentes apontam que aproximadamente 80% do mercado americano é operado com HFTs (TADIELLO, 2016).

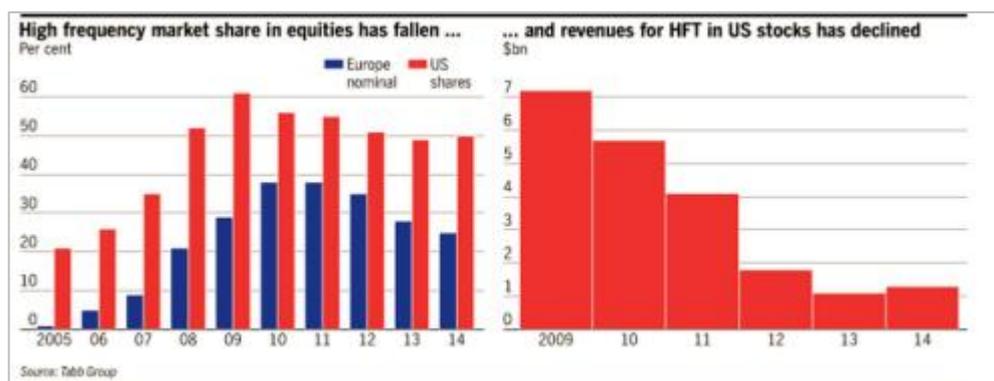


**Gráfico 2** - Números de robôs de negociação na alta frequência no mercado de ações americano

Fonte: Smith (2010)

Ao analisar o Gráfico 2, verifica-se a crescente porcentagem de utilização de robôs de negociação em alta frequência no mercado de ações dos Estados Unidos da América. Observa-se que no ano de 2005, as operações HFT correspondiam a aproximadamente 30% de todas as operações feitas no mercado, enquanto em 2009, esse número era de aproximadamente 60%.

Massoudi e Stafford (2014) apresentam no Gráfico 3, a participação dos HFTs nos mercados europeus e americanos, bem como, as receitas obtidas nas negociações de ações americanas, utilizando como fonte de estudo elaborado pela consultoria Tabb Group.



**Gráfico 3** - Participação e receitas do HFT nos Estados Unidos e Europa  
 Fonte: Massoudi e Stafford (2014)

Pode-se observar no Gráfico 3 que a participação do HFT no mercado vinha em um crescente, tanto nos Estados Unidos quanto na Europa até o ano de 2009, e conforme a participação foi caindo, a receita obtida pelos robôs de alta frequência também caiu, entretanto, não proporcionalmente.

Mesmo assim, os HFTs têm trazido bons resultados aos investidores americanos e europeus. O Medalion Fund, por exemplo, apresentou rendimentos anuais médios de 35% (entre 2000 e 2010) e os fundos da Renaissance que superaram o S&P500 em meio à crise de 2008 em torno de 4% a 6% (FERNANDES, 2015).

### 2.1.2 O contexto do HFT no mercado brasileiro

A inserção do HFT na bolsa brasileira, comparada ao mercado norte americano, foi mais tardia, entretanto, tem apresentado um ritmo lento, uma vez que só possível com a automação e a finalização do pregão viva-voz em 2005. Essa transição pode ter colaborado para o aumento de número de transações. Além disso, a aplicação de canais informatizados comprova maior velocidade de negociação e diminui o desgaste dos funcionários. (PINHEIRO; GOMES, 2008).

Então, tem-se uma estimativa de crescimento um pouco mais lento no mercado brasileiro. Até meados de 2011 se tinha poucas notícias referentes à utilização dos robôs, apesar de o Brasil já caminhasse para um aumento do uso desse sistema. De acordo com Portugal (2010), em setembro de 2010, a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) autorizou a aplicação de quatro sistemas de acesso expresso para o mercado financeiro:

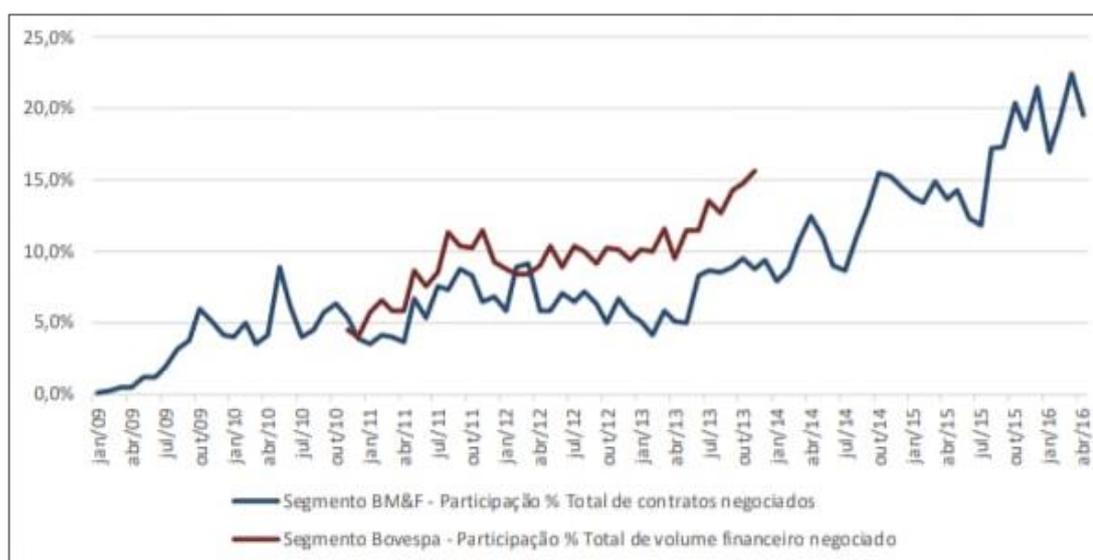
- o investidor opera mediante um provedor de acesso autorizado;

- o investidor conecta-se pela plataforma de negociação por meio da conexão direta;
- o investidor poderá instalar servidores dentro da bolsa (*co-location*<sup>9</sup>); e
- o investidor se utiliza de um suporte ofertado pela corretora, que funciona como intermediadora da relação bolsa de valores e cliente.

Esse penúltimo sistema de acesso permitido pela CVM, facilita e incentiva a utilização dos HFTs, visto que se tem a possibilidade de se ter um programa no interior da infraestrutura da bolsa, viabilizando a redução no tempo de negociação dos ativos (PORTUGAL, 2010).

No Brasil, apesar de retratarem um volume inferior do total negociado no mercado, as negociações envolvendo HFT registrou um crescimento entre 2009 e 2016.

O Gráfico 1 exibe a participação dos investidores HFT no volume total negociado no segmento da BM&F e no segmento Bovespa.



**Gráfico 1** - Participação no volume negociado total de investidores de alta frequência no Brasil  
Fonte: Tadiello (2016)

Os dados do Gráfico 1 demonstram que a participação no volume negociado total de investidores de HFT no Brasil em porcentagem, entre as datas de janeiro de 2009 e abril de 2016, comparando o Segmento BM&F e o segmento Bovespa.

No âmbito do crescimento da infraestrutura da bolsa, pode-se destacar, a construção de um data center e que foi finalizada em 2014, em Santana de Parnaíba,

<sup>9</sup> **Co-location** é a disponibilização de infraestrutura para hospedar servidores de sua empresa em um Data Center alugado. A palavra é da mesma família de *co-working*: *co-location* refere-se a **colocação**, ou **locação compartilhada**.

cidade localizada a cerca de 40 quilômetros da cidade de São Paulo, no qual foram aplicados 200 milhões de reais (CARRION, 2014).

Essa construção visava garantir maior eficiência e robustez ao negócio, além de dificultar a entrada de concorrentes e suprir a procura por *co-location* e negociações em alta frequência (CARRION, 2014).

### **2.1.3 Principais características do HFT**

Segundo Reis (2019), HFT, se trata de uma forma de negociação automática de ativos com prazos muito curtos, durando apenas alguns segundos, em que os negociadores obtêm lucros, a partir de pequenas disparidades de preços.

Sendo assim, Reis (2019) define as seguintes características como as principais dos HFTs:

- Negociações em grande quantidade;
- Negociações em alta velocidade; e
- Negociações em curto período de tempo.

Essas negociações são realizadas com computadores, por algoritmos especializados, chamados popularmente pelo mercado de robôs-investidores (REIS, 2019).

## **2.2 Negociação eletrônica, algorítmica e algorítmica de alta frequência**

Na década de 1990, o pregão “viva voz” era conhecido por um grande número de operadores responsáveis pela intermediação das operações e pela gritaria e força física necessárias para fechar negócio, como demonstrado na Figura 1 (DEMARCO, 2016).



**Figura 1** - Pregão da bolsa de valores no final dos anos de 1990

Fonte: BM&FBOVESPA (2020)

Em 2004, ano que novas empresas começaram a realizar a Oferta Pública Inicial ou *Initial Public Offering* (IPO)<sup>10</sup>, na bolsa brasileira, e dado, o aumento do volume de negociação, o pregão viva-voz tornou-se inviável, forçando a migração de todas as negociações para o sistema de negociação eletrônica, que na época, recebeu nome de MegaBolsa (DEMARCO, 2016).

Posteriormente, evoluiu para a Plataforma PUMA (Plataforma Unificada Multiativos), um sistema eletrônico de negociação de ativos financeiros utilizada pela BM&FBovespa (atual B3) e desenvolvida em conjunto com o CME Group uma empresa controladora da bolsa de valores de Chicago, maior do mercado de opção e contratos futuros do mundo) (DEMARCO, 2016).

A plataforma PUMA ao ser ágil e segura, permite que os investidores realizem as operações de qualquer lugar, de forma mais fluída, dinâmica e com menor extensão. Além disso, todos os investidores usam um único sistema e concentram todos os dados em uma única central (REIS, 2019).

---

<sup>10</sup> **Initial Public Offering (IPO)** ou Oferta Pública Inicial é um tipo de oferta pública em que as ações de uma empresa são vendidas ao público em geral numa bolsa de valores pela primeira vez. É o processo pelo qual uma empresa se torna numa empresa de capital aberto.

Dentro desse sistema unificado de negociação eletrônica, é possível utilizar algoritmos para executar ordens de compra e venda sem a presença de um humano. Antunes (2020) define algoritmo como 'tudo que é sistematizado', ou seja, que respeita uma sequência de instruções definidas, podendo ser eletrônico ou não. Os 'robôs' do mercado possuem algoritmos que norteiam suas ações.

A negociação algorítmica é um sistema automatizado de colocação e gestão de ordens comerciais sobre vários instrumentos financeiros por meio de programas de computador baseados em algoritmos matemáticos (MARKETS, 2020).

A partir daí nasce o *Algorithmic Trading* ou *AlgoTrading* (AT), a negociação automatizada por computador, executa estratégias matematicamente orientadas de movimentos de compra e/ou venda para obtenção de ganhos financeiros nos mercados. Tais estratégias calculam a probabilidade de queda ou aumento do preço num determinado intervalo em futuro (MARKETS, 2020).

O HFT é uma forma de AT que executa as ordens de sua estratégia em uma velocidade extremamente alta (PARANÁ, 2018).

### **2.2.2 Atuação dos algoritmos e dos HFTs**

Os HFTs atuam em uma mesma sessão regular da bolsa de valores, e se dá em uma plataforma automatizada, utilizada, em geral, por grandes bancos de investimento e investidores institucionais. Porém, com o passar do tempo, vem se tornando cada vez mais comum, a utilização de robôs por pessoas físicas (REIS, 2019).

Segundo Durbin (2010), *High Frequency Traders*, como são chamados os investidores HFT, fazem uso de estratégias de formação de mercado, arbitragem e arbitragem estatística. Representando assim, posições não cobertas carregadas por um curto período de tempo.

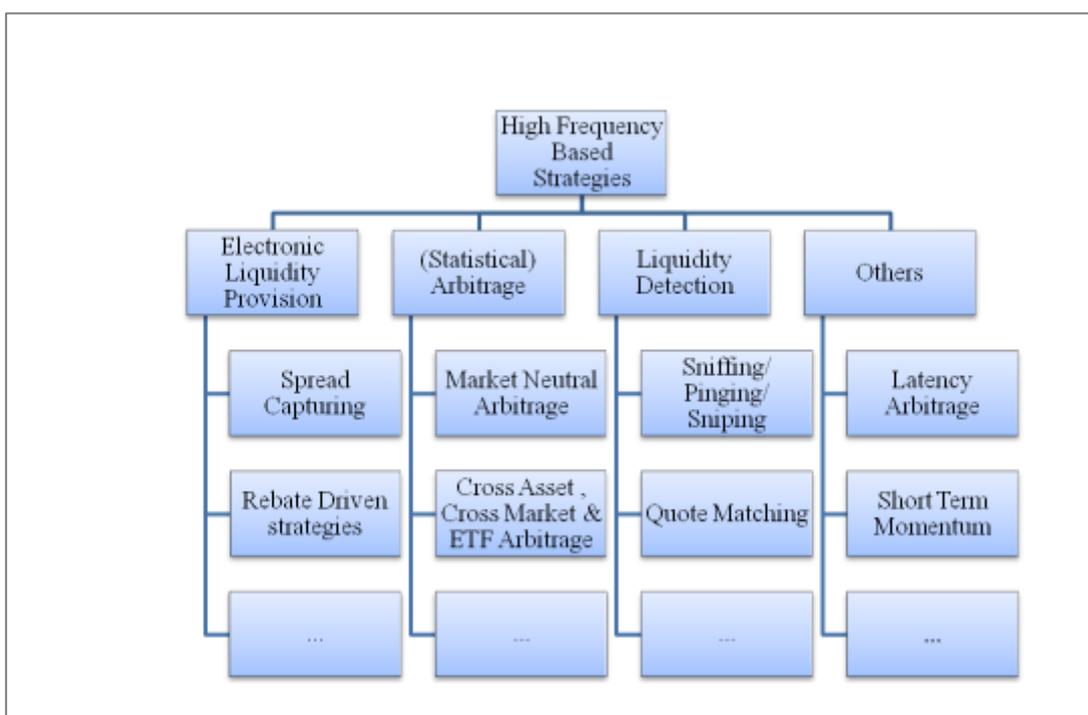
Aldridge (2009), diz que dentre as estratégias de arbitragem estatística, encontram-se aquelas que empregam modelos de previsão de preços, lendo *feeds* de dados em alta velocidade em tempo real, e detectando finais de negociação, com base na análise de padrões passados. Eles também podem identificar oportunidades de arbitragem comum onde serão explorados erros de precificação de ativos. Um exemplo básico de arbitragem seria a compra e venda de um ativo cotado em

mercados distintos, onde o ativo é comprado por um preço X no mercado A e vendido por um preço maior que X no mercado B.

### 2.2.3 Estratégias comuns implementadas com o HFT

Gomber (2011) agrupa as estratégias de negociação HFT em 4 categorias: (i) formação de mercado, que se refere à estratégia de submeter simultaneamente uma ordem limitada de compra e uma de venda; (ii) arbitragem, uma estratégia sem riscos que explora erros de precificação de ativos; (iii) arbitragem estatística, que envolve posições não cobertas carregadas por um determinado período de tempo, em antecipação a pequenas mudanças de preços intradiárias e (iv) que não utilizaria alta frequência em si, com foco na otimização de execução de grandes ordens, visando reduzir o impacto na formação de preços proveniente da execução de grandes ordens.

A Figura 2 mostra algumas estratégias conhecidas que, provavelmente, são as mais utilizadas com o HFT.



**Figura 2** - Estratégias empregadas com o HFT  
Fonte: Gomber (2011)

Cavalcanti (2013, p. 25) define as estratégias da seguinte forma:

- **Spread capture:** simula o papel de um formador de mercado tradicional, no entanto, sem as obrigações deste, e o ganho vem com a diferença de preço entre a oferta e a procura.
- **Rebate driven:** aproveita-se do fato de que alguns canais de negociação como a bolsas de valores, *dark pools*<sup>11</sup>, etc., para enfrentar a concorrência, adotam preços diferenciados para quem leva liquidez aos mercados ou até mesmo oferecem bônus para isso.
- **Market neutral arbitrage:** essa estratégia se aproveita da correlação de ativos. Os ganhos vêm da diferença de preços entre o momento que se assume uma posição e o momento em que esta é liquidada. Como os computadores são muito mais rápidos, uma vez que duram pequenos espaços de tempo, na análise dos mercados em busca de oportunidades de arbitragem, essa estratégia tem tornado importante para quem utiliza o HFT.
- **Cross asset, cross market & Exchange traded fund arbitrage:** negocia ativos entre os mercados financeiros, não apenas os de capitais ou negocia ativos relacionados se aproveitando de ineficiências entre os mercados. Se um ativo apresenta diferença de preços entre os mercados, ele é comprado no mercado onde seu preço é menor e é vendido onde sua cotação é maior. Tal estratégia se aproveita da fragmentação dos mercados e de diferentes plataformas de negociação e é extremamente dependente da velocidade, já que tais ineficiências duram muito pouco.
- **Liquidity detection:** tenta identificar o comportamento de outros participantes do mercado e se ajustar para isso. Seu foco é identificar grandes ordens, até mesmo as que foram divididas em menores ordens e serão executadas por meio de AT para se aproveitar do impacto delas nos preços. A *liquidity detection* costuma enviar pequenas ordens para verificar se há uma grande ordem aguardando para ser executada. Se a ordem pequena for executada rapidamente é possível que exista uma maior por trás. A Comissão de Valores Mobiliários dos Estados Unidos ou U.S.C.

---

<sup>11</sup> **Dark pool:** é um fórum privado para a negociação de títulos, derivativos e outros instrumentos financeiros.

*Securities and Exchange Commission* (2010) chama-as de *directional strategies*.

- **Latency arbitrage:** se aproveita da maior velocidade com que os computadores recebem e interpretam os dados do mercado por meio dos algoritmos. E, é considerada ‘predatória’ por prejudicar outros participantes.
- **Short-term momentum strategies:** é uma estratégia que simula as operações feitas pelos *day-traders*. Gomber (2011) alerta que, ao contrário de outras estratégias empregadas no HFT, essa retira liquidez do mercado. Zhang (2010) também menciona que elas aumentam a volatilidade dos preços.

### 2.2.3.1 Estratégias passivas

Também conhecida como *Electronic Liquidity Provision* (ELP), ou arbitragem de desconto, os HFTs passivos têm esse nome porque executam ordens limitadas e não a mercado e trabalham com tentativas de lucrar com *spread* (diferenciais de preço) e os descontos pagos pelos locais de negociação para os mesmos ativos financeiros e/ou seus derivativos negociados em diferentes locais de negociação, gerando liquidez para o mercado (ROVER, 2019).

Segundo Costa (2018), a estratégia consiste em:

- o formador de mercado adquire um estoque (*inventory*) do instrumento financeiro que irá negociar;
- são colocadas ofertas limitadas de compra, de venda ou ambas (compra abaixo do melhor preço de compra e venda acima do melhor preço de venda), sendo que, a distância dos melhores preços é uma função do tamanho do *spread* do instrumento financeiro e dos parâmetros de risco do formador de mercado;
- com o passar do tempo, as ofertas limitadas podem ser executadas contraofertas a mercado de outros participantes, do que resultam alterações no estoque do instrumento financeiro mantido pelo formador de mercado;
- conforme a dinâmica dos preços, a posição acumulada e o preço médio da montagem da posição, são colocadas novas ordens limitadas, que buscam

vender o que foi comprado a um preço médio maior que o de compra e comprar o que foi vendido a um preço médio menor que o da venda.

Esta estratégia também pode servir como detectores de presença de ofertas maiores, geralmente feitas por *players* institucionais, que são aqueles participantes com real poder de controlar o preço através da manipulação do volume. Isso quando as estratégias ELP são desconformemente afetadas por um preço que altera o *spread* atual do *book* de ofertas (UMUARAMA, 2017).

### 2.2.3.2 Arbitragem

A arbitragem é uma operação que consiste na compra e venda de determinado ativo, em mercados diferentes, com o objetivo de se obter lucro sobre a rápida discrepância de preços (PRELADO 2019).

Trata-se de uma estratégia, onde é uma prática de aproveitar a discrepância de preços entre dois ou mais mercados, realizando uma compra e uma venda quase simultaneamente nesses mercados com preços distintos (PRELADO 2019).

Lista-se na sequência, dois tipos de arbitrariedade como vertentes (PRELADO 2019):

- **Arbitrariedade Eventual:** certos eventos ordinários que geram respostas presumíveis em curto prazo em um agrupamento selecionado de valores mobiliários. Os operadores de alta frequência se aproveitam dessa probabilidade para gerar lucros em curto período.
- **Arbitrariedade Estatística ou *Statistical-arb*:** profissionais avaliam as circunstâncias econômicas ou não aptos de influenciar os preços de ativos, e calculam quais seriam os preços integro destes, examinam sob um visual fundamentalista combinada com a estatística. No âmbito do HFT, as máquinas arbitram as divergências na análise de curto prazo com fins de lucrar.

### 2.2.3.3 Estratégias direcionais

Diferente dos outros grupos, os HFTs direcionais compram ou vendem baseados em uma previsão de um movimento num determinado horizonte de tempo no futuro (COSTA, 2018).

Essas decisões geralmente são baseadas em notícias, métodos de análise técnica ou fundamentos econômicos oficiais divulgados por empresas. Trata-se de uma negociação baseada em informações de mercado, geralmente é usada por *traders* comuns, porém automatizada por algoritmos (COSTA, 2018).

As duas principais estratégias direcionais são (COSTA, 2018):

- **antecipação de ofertas (*order anticipation*):** consiste em negociar com base na previsão acerca do que determinados investidores farão, tendo como base, a distribuição de demanda e oferta observável no livro de ofertas. A ideia é que uma presença relevante de compra ou venda sinaliza que o mercado irá realizar um movimento significativo a curtíssimo prazo; e
- **a criação de movimento direcional (*momentum ignition*):** recebe esse nome porque, a partir de uma sequência de ofertas ou de negócios, é possível criar um movimento direcional de curto prazo do determinado ativo financeiro, favorecendo o investidor que estava posicionado previamente.

### 2.3 Determinantes no desempenho do HFT

O aprimoramento dos HFTs leva, cada vez mais, ao abandono de análise fundamentalista como fatores macroeconômicos e itens como (PARANÁ, 2018):

- Relação preço/lucro (P/L);
- Análise de balanços;
- Retorno sobre Capital Investido ou *Return on Invested Capital* (ROIC); e
- Retorno sobre Patrimônio Líquido ou *Return On Equity* (ROE) das empresas.

Contudo, utilizam-se basicamente da análise técnica, dos modelos matemáticos e de estratégias para combinar ordens de compra e venda (PARANÁ, 2018).

Algumas variáveis são cruciais no desempenho do HFT, tais como o uso de serviços de acesso direto ao mercado, conhecidos como *co-location*; a manutenção de ativos em custódia por curtos períodos, reduzindo o risco da carteira; uma elevada taxa de ofertas submetidas por transações executadas (GOMBER, 2011).

Ou seja, uma elevada taxa de cancelamento, e por último, o tempo e nesse cenário, é necessária a capacidade de receber e enviar ordens de compra e venda rapidamente, ou seja, com baixas latências (GOMBER, 2011).

Desta forma, negócios *intraday*, voltados a especulação e arbitragem de papéis por meio do processamento em alta intensidade de dados de mercado, como mercado futuro, por exemplo, mais propensos à competição em torno de baixa latência, ganham incentivos adicionais para tornarem-se dominantes (LEWIS, 2014).

De acordo com Paraná (2018), a busca crescente por ganhos rápidos e seguros de curto-prazo ativa o desenvolvimento de novas estratégias, ferramentas e soluções tecnológicas para a realização de negociações automatizadas em alta velocidade.

Já no quesito espaço, investidores buscam a maneira mais primitiva de se beneficiarem, reduzindo a distância entre a máquina que realiza a ordem e o servidor da bolsa de valores, que recebe (PARANÁ, 2018).

Esse recurso, ficou conhecido como *co-location*, que permite que investidores coloquem seus HFTs dentro do próprio prédio da bolsa de valores, diminuindo assim a distância entre a ordem de negociação e sua execução no mercado e permitindo menores latências (PARANÁ, 2018).

## 2.4 Determinantes de nível de participação diária de investidores que utilizam estratégias de HFT

Os indicadores econômicos como os Volumes *Weighted Average Price* (VWAP) ou Média de preço ponderada pelo volume a VWAP são utilizados como estratégia no processo de tomada de decisão de investidores no mercado de contratos futuros de taxa de câmbio de reais por dólar comercial, junto a isso, acredita-se que há uma relação de causa e efeito entre esses indicadores e o nível médio de participação de HFTs ativos ao longo de um dia (MAAZ, 2018).

Para esse cálculo, é realizado uma regressão de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) da parcela HFT de contratos futuros de dólar comercial negociados ao longo de um dia 't' por investidores que utilizam estratégias de HFT baseadas em indicadores econômicos (MAAZ, 2018).

A regressão é baseada no modelo utilizado por Brogaard (2010) que possui a equação a seguir

$$HFT_t = \alpha + \beta_1 Vol_t + \beta_2 PA_t + \beta_3 V_t + \beta_4 \sigma_t + \beta_5 P_t + \epsilon_t$$

Onde:

- **Vol<sub>t</sub>**: é o nível de volatilidade do índice Ibovespa;
- **PA<sub>t</sub>**: é o número de contratos futuros de taxa de câmbio de reais para dólar comercial que ainda não foram liquidados no dia t;
- **V<sub>t</sub>**: é o volume total em dólares de operações realizadas com contratos futuros de taxa de câmbio de reais para dólar comercial no dia t, escalado por um fator de 10<sup>-7</sup>;
- **σ<sub>t</sub>**: é a volatilidade média de dez segundos de contratos futuros de taxa de câmbio de reais para dólar comercial no dia t;
- **P<sub>t</sub>**: é o nível médio da taxa futura de câmbio de reais para dólar comercial ao longo do dia t.

Assim como descrito por Brogaard (2010), as variáveis independentes foram escolhidas de maneira a contemplar informações sobre contratos futuros de dólar comercial que poderiam influenciar o comportamento de investidores.

A posição aberta reflete informações importantes sobre a precificação do ativo financeiro em questão, ao passo que o volume negociado indica o nível de atividade no mercado (BROGAARD, 2010).

A volatilidade da taxa futura de câmbio de dólar comercial é uma medida de variabilidade dos níveis de preços de contratos futuros de dólar, assim como o nível de volatilidade do índice Ibovespa incorpora dados sobre a variabilidade de índices de preços de mercado como um todo (BROGAARD, 2010).

Finalmente, o nível médio da taxa futura de câmbio de dólar comercial representa uma medida da probabilidade de que a variação mínima de apregoamento será preponderante para a realização da operação (BROGAARD, 2010).

A regressão é então realizada novamente, mas agora levando em consideração apenas operações feitas com HFT que demandaram liquidez de outros agentes de mercado (BROGAARD, 2010).

E, ao executar o processo uma última vez, tomando em conta somente negociações feitas somente entre HFT e outros operadores, os resultados obtidos estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** - Determinantes de nível de participação diária de investidores que utilizam estratégias de HFT

Variável	Total		Demanda	
	Estimador	Estatística t	Estimador	Estatística t
Intercepto	1,732	6,151***	1,668	5,349***
Volatilidade Ibovespa	-0,0008	-1,655	-0,0001	-0,221
Posição em Aberto	-0,0659	-3,183**	-0,0826	-3,602***
Volume Total	0,0000	-0,848	0,0000	7,402***
Volatilidade Futuro USD	0,3897	2,647**	-0,4702	-2,883**
Taxa de Câmbio Média	0,0000	-1,113	0,0000	-0,066
Número de observações	264		264	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,07104		0,1761	

Variável	Fornecimento	
	Estimador	Estatística t
Intercepto	1,995	6,658***
Volatilidade Ibovespa	-0,0016	-2,815**
Posição em aberto	-0,1049	-4,762***
Volume Total	0,0000	-5,68***
Volatilidade Futuro USD	0,6697	4,275***
Taxa de Câmbio Média	-0,0000	-0,686
Número de observações	264	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,2505	

Nota: Dados numéricos arredondados.

Códigos de significância: 0 (\*\*\*), 0,001 (\*\*), 0,05 (\*), 0,1 (.)

Fonte: MAAZ (2018)

Segundo Maaz (2018), a coluna ‘Total’ apresenta os coeficientes da regressão realizada levando-se em conta informações sobre todas as operações que contaram com a participação de investidores que utilizam estratégias de HFT.

A coluna “Demanda” contém informações sobre os estimadores obtidos ao se considerar apenas operações por meio das quais investidores que utilizam estratégias de HFT demandaram liquidez do mercado, ao passo que a coluna “Fornecimento” possui dados de coeficientes calculados ao se contemplar apenas transações através das quais os investidores que utilizam estratégias de negociações algorítmicas de alta frequência fornecem liquidez ao mercado (MAAZ,2018).

A Tabela 2 está estruturada na mesma maneira, porém, os coeficientes foram padronizados. Isto é, trata-se dos valores estimados obtidos a partir da realização da regressão de linear múltipla pelos métodos dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), após a subtração das variáveis por seus respectivos valores médios e divisão por seus respectivos padrões (MAAZ,2018).

**Tabela 2** - Determinantes de nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT  
(coeficientes padronizados)

Variável	Total		Demanda	
	Estimador	Estatística t	Estimador	Estatística t
Intercepto	1,732	6,151***	1,668	5,349***
Volatilidade Ibovespa	-0,0008	-1,655.	-0,0001	-0,221
Posição em Aberto	-0,0659	-3,183**	-0,0826	-3,602***
Volume Total	0,0000	-0,848	0,0000	7,402***
Volatilidade Futuro USD	0,3897	2,647**	-0,4702	-2,883**
Taxa de Câmbio Média	0,0000	-1,113	0,0000	-0,066
Número de observações	264		264	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,07104		0,1761	

Variável	Fornecimento	
	Estimador	Estatística t
Intercepto	1,995	6,658***
Volatilidade Ibovespa	-0,0016	-2,815**
Posição em aberto	-0,1049	-4,762***
Volume Total	0,0000	-5,68***
Volatilidade Futuro USD	0,6697	4,275***
Taxa de Câmbio Média	-0,0000	-0,686
Número de observações	264	
R <sup>2</sup> Ajustado	0,2505	

Nota: Dados numéricos arredondados.

Códigos de significância: 0 (\*\*\*), 0,001 (\*\*), 0,05 (\*), 0,1 (.)

Fonte: Maaz (2018)

Os resultados das regressões mostram que tanto os níveis de volatilidade da taxa futura de cambio em reais por dólar comercial e do Índice Ibovespa quanto a posição em aberto de contratos futuros de dólar comercial possuem importância fundamental na determinação do nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT, independentemente da forma de atuação (MAAZ, 2018).

Além disso, é visível que apesar do volume total negociado possuir impacto na participação dos HFTs mediante demanda de liquidez, a volatilidade do índice Bovespa deixa de ser estatisticamente significativa em situações que os HFTs não atuam com o fornecimento de liquidez, mostrando que a variabilidade do índice Ibovespa aparenta ter grande influência no nível de atividade (MAAZ, 2018).

Já as HFTs, nesse caso, usariam uma análise intermercado para ajudar na tomada de decisão). Essa é um tipo de análise de mais de uma classe relacionada de ativos; tais como: como ações, títulos, *commodities* (MAAZ, 2018).

## **2.5 A regulação/legislação do mercado de HFT**

Com o intuito de alcançar objetivos pontuais, o direito atribui consequências a algumas ações, orientando a atuação dos destinatários das normas jurídicas, uma vez que tem foco e preocupação com o funcionamento adequado do mercado (PENTAGNA, 2015).

Os investidores negociam de modo a fazer que o preço se baseie em informações, a eles dispostas, ocorrendo de modo eficiente, contudo, pode haver falhas nesse processo, como a concentração de poder, assimetrias de informações, externalidades entre outros (PENTAGNA, 2015).

Os HFTs estabelecem externalidades um tanto negativas, ao sobrecarregar os sistemas dos intermediários e da bolsa em si, ordenando custos que podem ser repassados a outros investidores (PENTAGNA, 2015).

Esse é um exemplo de falhas de mercados que A respeito de regulamentação no Brasil, não tem um referencial, seja em nome dos órgãos oficiais, em especial a CVM, seja porta dos autorregulamentadores (PENTAGNA, 2015).

Algo mais parecido de uma autorregulamentação que é possível fazer relação no Brasil, são os ofícios circulares expostos pela BM&FBovespa, em particular a Carta Circular n. 028/2010, colocando sobre a política de tarifas cabíveis aos que investem em HFT (PENTAGNA, 2015).

Agora podem-se elencar medidas relativas as repostas regulatórias e à atenuação de possíveis impactos negativos da atuação de HFT quanto ao processo de formação de preços, a competência de informação de mercado, volatilidade e liquidez (PENTAGNA, 2015).

As repostas regulatórias descritas, complementam o debate sobre ilícitos de mercado e sua supervisão, formando um conjunto inteiro de opções regulatórias a serem considerada, com três grupos possíveis de mecanismos regulatórios, nos quais Pentagna (2015) cita:

- **Controles de velocidade:** regras que controlam a velocidade de negociação, conformando a pequena estrutura de mercado, de jeito a desincentivar um provimento visível de liquidez e sobrepeso dos sistemas de informação com o excesso de mensagens.
- **Regime de informação:** é característico para a negociação algorítmica, com a necessidade de informação e proposta para o aumento da supervisão de mercado.
- **Fiscalização e punição de ilícitos de mercado:** responsável pela fiscalização de condutas no trânsito e suas aplicações de multa.

## 2.6 Tipos de robôs que negociam no HFT

Como mencionado anteriormente, a tecnologia de algoritmos de investimento surgiu no fim dos anos de 1990 para dar suporte a grandes volumes de negociação na bolsa de valores. E, na atualidade, essa ferramenta é acessível para qualquer pessoa, independentemente do nível de conhecimento sobre o mercado financeiro (DUBARD, 2019).

Tem-se então, os robôs de investimento presentes na maioria das transações no mercado financeiro, seja de forma direta ou indireta. Eles são um programa de computador que automatiza processos relacionados a transações financeiras e podem atuar em uma ou mais fases desses processos (DUBARD, 2019).

Dubard (2019) descreve que as principais funções de um robô investidor são:

- analisar e escolher os melhores investimentos;
- executar aplicações financeiras;
- monitorar o desempenho desses investimentos; e

- resgatar aplicações de acordo com determinadas regras.

O papel principal dessa tecnologia é executar comandos com mais velocidade e reduzir possibilidades de falha. Assim, qualquer processo mecânico pode ser delegado para essa ferramenta (DUBARD, 2019).

O negociador de alta frequência ou HFT, foram os primeiros robôs de investimento a surgirem no mercado financeiro. Eles deram origem ao chamado robô *trader*. Seu objetivo é executar ordens de compra e venda de investimentos de forma muito rápida, em frações de segundo. É assim que eles dão apoio a bancos, corretoras de valores, fundos de investimentos e outras instituições que negociam na bolsa de valores (DUBARD, 2019).

Assim, como qualquer outro produto ou serviço disponibilizado para atender diversas demandas e necessidades de clientes e seus perfis diversificado, os robôs que negociam no HFT também podem ser adquiridos no mercado, com certas disponibilidades de modelos estruturalmente, que são divididos em três soluções, os Black Box, os White Box e os Proprietários, no qual são descritos e pontuados as suas respectivas características e diferenças (VAANANENE, 2015).

### **2.6.1 Black Box**

Em HFT, o Black Box é sinônimo de negociação automatizada, ou ainda negociação algorítmica. É caracterizada por ter caráter de execução, baseada em preços, pronta e executora: combinação de parâmetros onde o robô executará uma estratégia, então a ideia de negócio previamente definida, precisa ser transformada em código computacional, que coleta os dados, analisa e depois fornece uma ordem (VAANANENE, 2015).

Diversas linguagens são usadas para a programação algorítmica e o Black Box pode utilizar diferentes linguagens para diferentes partes da estratégia de negócio, como: C#, C++ e Java, que são as linguagens mais comuns para o Black Box (VAANANENE, 2015).

Por ser uma plataforma de caráter executor, ele não vai mostrar a saída ao operador ou executar automaticamente uma ordem 'stop', uma vez que precisará ser programada para fazer essas funções (FERNANDES, 2015).

Outra particularidade conveniente a esse viés de solução de execução são as formas de atuação chamadas de 'borboletas' e 'Long & Short', na qual na última,

compram uma ação e vendem a outra buscando respeitar uma diferença de preços pré-estabelecida pelo operador (FERNANDES, 2015).

### **2.6.2 White Box**

Os chamados White Box são plataformas de estratégia mais flexíveis e customizáveis pelo usuário na construção da estratégia de negócio, pois poderá adicionar diversas variáveis e possíveis resultados na análise, não obstante demandam um conhecimento e experiência mais aprofundada na área de programação de algoritmos (FERNANDES, 2015).

Essa plataforma é também caracterizada por ser passível da inclusão de diversos eventos simultâneos. Além do mais, possibilita também conhecer as variáveis de microestrutura, ou seja, saber quanto possui na aquisição e na venda de um ativo além da chance de se desvendar as conjunturas que entram no mercado (FERNANDES, 2015).

### **2.6.3 Proprietárias**

As Proprietárias são plataformas que se caracterizam pelo seu elevado nível de elaboração, pois trata-se de uma ferramenta muito mais sofisticada, analítica, complexa e completa (HENRIQUE, 2015).

Este tipo de modelo requer conhecimentos avançados na área de programação e também exige a implementação da ferramenta desde o início até o final, incluindo sistemas de ordens específicas para cada robô desenvolvido (HENRIQUE, 2015).

Os robôs proprietários são desenvolvidos por grandes instituições e investidores, por não se tratar de modelos algoritmos predispostos a serem seguidos, as construções próprias que se compõem e que permitem a constante aperfeiçoamento de estratégias em particular.

### 3 O HIGH FREQUENCY TRADING (HFT) NAS OPERAÇÕES DE DAY TRADE DA BOLSA DE VALORES BRASILEIRA

#### 3.1 As operações *High Frequency Trading* (HFT) no Brasil

De acordo com Aldridge (2013), o *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência atingiu *Wall Street* é uma forma intensa, tendo como fundamental razão, sua grande rentabilidade.

Em 2009, nos Estados Unidos, o HFT representava por volta de 60% do volume de transações nas bolsas de valores, no que se referem aos retornos. Aldridge (2013) relata que 50% das posições abertas para o ofício no ramo de finanças abrangiam conhecimento em HFT, visto que isto aconteceu no ápice da crise do *subprime*<sup>12</sup> de 2008. E, no Brasil, as operações passaram a ser integralmente automatizadas somente em 2005, após o encerramento do pregão viva-voz (PINHEIROS; GOMES, 2008).

Pinheiros e Gomes (2008) argumentam a respeito desta mudança, uma vez que ela colaborou para o avanço do volume transacionado que, com operações informatizadas, houve um acréscimo na velocidade de processamento das informações e menor esgotamento dos funcionários, o que aperfeiçoou o atendimento e atraiu mais investidores. Com isso, prevê-se um aumento gradual das operações HFTs no mercado financeiro brasileiro.

De acordo o relatório da Trapezus (2011) estima-se que as primeiras táticas quantitativas no Brasil começaram entre os anos de 2005 e 2006 e em 2011, o quantitativo gerado representou somente 1% do mercado de fundos, visto que ainda não havia uma classificação formal para os fundos quantitativos.

Segundo Mazzoni (2012), a CVM afirmava que momento era propício para o desenvolvimento das operações de HFTs, dado o interesse dos investidores de ampliar essas operações, especialmente pela atuação das corretoras pela captação de clientes, que tem investido em qualificação de seus colaboradores, além de grandes investimentos em infraestrutura tecnológica.

---

<sup>12</sup> **Crise do *subprime*:** foi o resultado do estouro de uma bolha de investimentos massivos em hipotecas nos Estados Unidos que cresceram ao longo dos anos 2000. As hipotecas são uma forma de financiamento imobiliário, em que o imóvel é dado como garantia ao banco caso o tomador não consiga pagar as dívidas. Os imóveis passaram então a ter uma valorização fictícia, dado o aumento extremo da demanda pela facilidade do acesso ao financiamento.

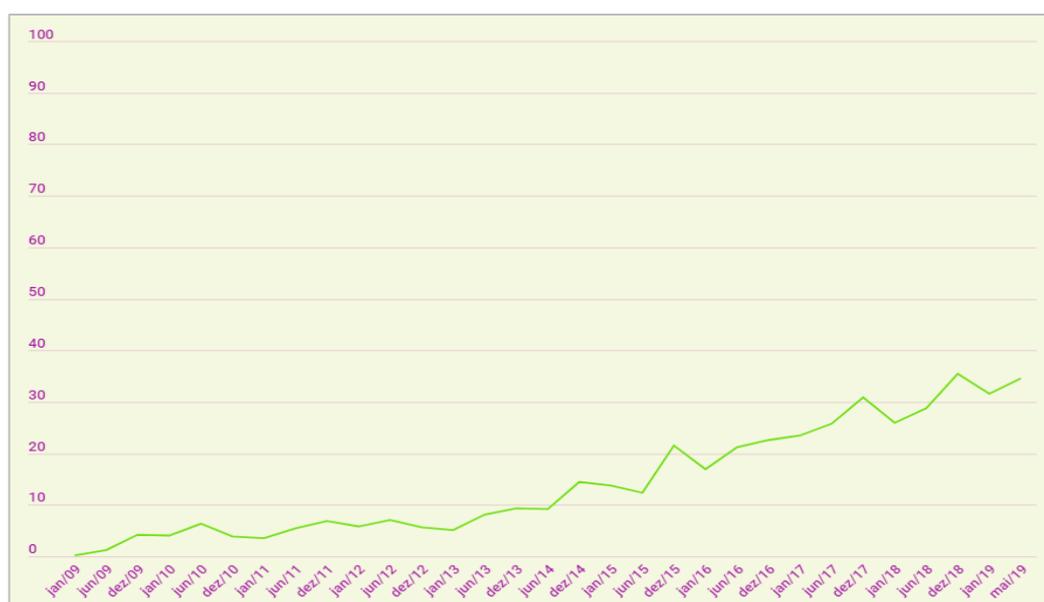
Uma grande vantagem para a operação de alta frequência no Brasil nas menções de Mazzoni (2012) é a presença de apenas uma bolsa, com os sistemas de transação, custódia e liquidação integrados. A contrapartida é o risco de algum erro técnico interromper as operações.

Em 2010, Mazzoni (2012) cita que o Brasil avançou em pontos viabilizadores de negociação de alta frequência ao divulgar a modalidade de *Direct Market Access* (DMA) ou Acesso Direto ao Mercado, que permite aos investidores uma interação com o *book* de ofertas da bolsa de valores e a negociação de qualquer ativo financeiro no mercado de ações a vista, nos quais, os contratos da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) já tinham esse modelo de negociações desde agosto de 2008.

Paraná (2018) relata que, em 2014 por volta de 40% de todas as operações de compra e venda de ações na bolsa de valores brasileira foram executadas por programas de computador automatizados.

A aplicação desse tipo de tecnologia tem crescido ascendentemente no Brasil, pois, em uma pesquisa feita em 2019 verificou-se que do total de contratos negociados por investidores de alta frequência no segmento BM&F teve um recorde ao negociar 9,6 milhões de contratos (ANDRADE; GUILHERME, 2019).

Tem-se no Gráfico 4, a participação de HFT nas operações no segmento BM&F, no período de janeiro de 2009 a maio de 2019.



**Gráfico 4** – Participação de HFT nas operações no segmento BM&F  
Fonte: Jornal O Estadão (2019)

Observa-se no Gráfico 4, o processo evolutivo do número da participação de HFT nas operações no segmento BM&F, apresentando o volume médio de operações diárias nos últimos dez anos.

### 3.1.1 Rentabilidade da prática de HFT

Os HFTs são acompanhados de algoritmos complexos com o intuito de analisar dados obtidos, aperfeiçoar envio de ordens e tomar as melhores decisões de compra e venda. O grande objetivo do HFT é a maximização de rentabilidade do investidor (ALDRIDGE, 2010).

Os lucros dos HFTs são decorrentes de um grupo limitado de atividades. Isso integra atividades de criação de mercado, arrecadando descontos de liquidez, fazendo com êxito, a detecção de padrões estáticos, mantendo a lei de um preço e eventualmente, manipulando mercados (ALDRIDGE, 2010).

Portanto, uma vez que os formadores de mercado distribuem liquidez em um significativo número de negócios, eles usualmente recebem descontos de liquidez das bolsas, mas, os ganhos conseguem ser conceitualmente decompostos em seus respectivos componentes (ALDRIDGE, 2010).

Assim, todas as operações de mercado, exceto as atividades de manipulação de mercado, podem ser vistas como serviços que os HFTs estão oferecendo para o mercado. Isto é, os lucros obtidos por HFTs podem ser uma forma compensação por inspecionar o mercado, podendo, posteriormente, ampliar a eficiência ou melhorar a liquidez.

No período entre 2000 e 2010, os retornos dos HFTs foram favoráveis aos investidores, segundo dados expostos por Aldridge (2010), pois alguns fundos HFT como o exemplo do *i.e. Medallion Fund* apresentaram rendimentos anuais médios de 35% e os fundos da *Renaissance* chegaram a exceder o S&P500 em meio à crise de 2008, com rendimentos em torno de 4% a 6%.

Já com relação ao mercado brasileiro, estima-se que investidores que usavam HFT para realizar operações com contratos futuros de dólar americano no mercado brasileiro, baseado nessa metodologia, obtiveram lucros (BROGAARD, 2010).

Isso ocorreu porque os dados foram obtidos somente das operações feitas na BM&F com contratos futuros de taxa de câmbio de reais por dólar comercial, tendo

vencimento no primeiro dia útil do mês subsequente a data da operação (BROGAARD, 2010).

Além do mais, o quantitativo de dados usados no desenvolvimento da análise não permite a determinação dos lucros obtidos por investidores que usam estratégias de HFT individualmente, não permitindo fazer uma correspondência entre as operações por meio das quais os operadores abrem e não terminam suas posições (BROGAARD, 2010).

Assim, esse impedimento é contornado com a suposição de que o grupo de investidores que usam estratégias de HFT constituem a somente um participante do mercado de contratos futuros de dólar dos Estados Unidos, de forma que não são levadas em consideração, as transações feitas entre dois negociadores algoritmos (BROGAARD, 2010).

Aditivamente, investidores que usavam estratégias algorítmicas de alta frequência evitam terminar dias de negociações com posição em aberto nos ativos em que operam, e, de acordo com Brogaard (2010), o grupo deste tipo de operadores geralmente termina os pregões em uma posição nivelada.

Deste modo, o lucro bruto obtido no decorrer de um dia pelo grupo de investidores que usam estratégias algorítmicas de alta frequência é representado por dedução do valor em reais gastos na compra de contratos futuros de dólar dos Estados Unidos e também do valor em reais arrecado referentes à venda de contratos futuros e de taxa de câmbio de reais por dólar ao decorrer do período em questão (BROGAARD, 2010).

Todavia, é possível mencionar que, na maior parte dos dias contemplados pela massa de dados usados no estudo em questão e que usam estratégias de HFT na negociação de contratos futuros de dólar comercial, não tem posição nivelada no final das atividades de mercado (BROGAARD, 2010).

Com isso, considera-se posições em aberto de investidores que usam estratégias de HFT liquidadas ao nível médio da taxa de câmbio ao decorrer do dia, sendo, o lucro bruto ( $Lucro_d$ ) em reais efetuado em um dia “d”, como demonstrado na equação abaixo:

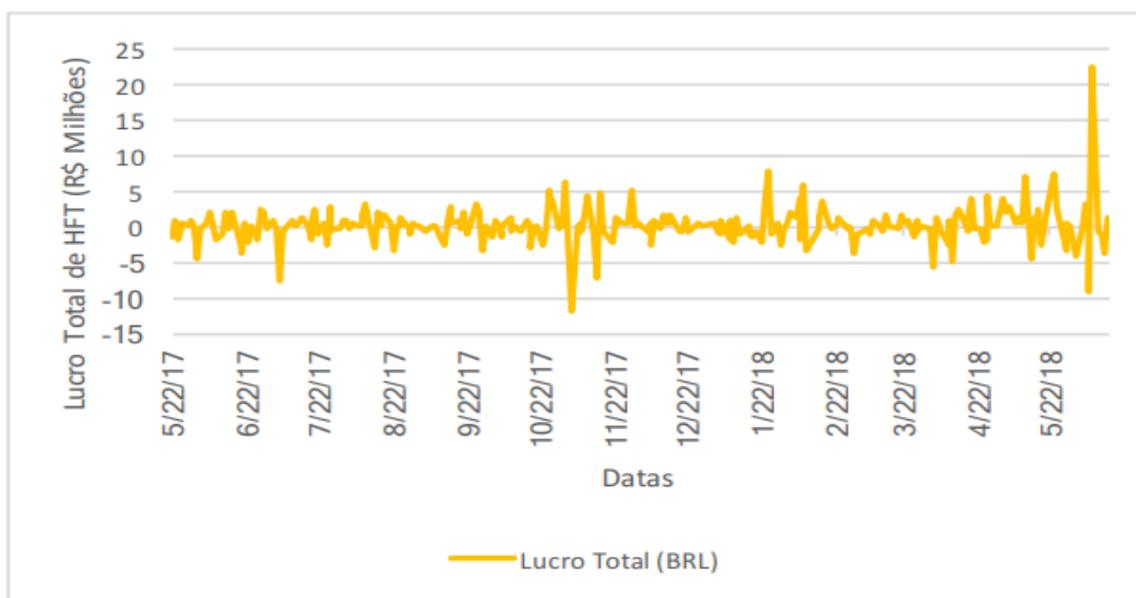
$$Lucro_d = 50 \left[ \sum_{t=1}^T (1_{Venda,t} Pre\c{o}_t N_t - 1_{Compra,t} Pre\c{o}_t N_t) + E(Pre\c{o}_d) \sum_{t=1}^T (1_{Compra,t} N_t - 1_{Venda,t} N_t) \right]$$

Onde:

- $1_{Venda,t}$ : é uma variável *dummy* que atribui valor igual a 1 se o investidor que usar estratégias de HFT venderam contratos futuros de câmbio na operação t;
- $Pre\c{o}_t$ : é a taxa de câmbio da operação t, expressa em unidades de Real do Brasil por mil unidade de Dólar dos Estados Unidos, com precisão de quatro casas decimais;
- $N_t$ : é o número de contratos futuros de taxa de câmbio de reais por Dólar Comercial negociados na operação t;
- $1_{Compra,t}$ : é uma variável *dummy* que atribui valor igual a 1 se o investidor que utiliza estratégias de HFT compraram contratos futuros de câmbio na operação t;
- $E(Pre\c{o}_d)$ : é o nível médio do futuro da taxa de câmbio de reais por Dólar Comercial ao decorrer do dia “d”;
- $T$ : é o número de operações feitas no dia dentre investidores que usam estratégias de HFT e investidores que não utilizam estratégias de HFT.

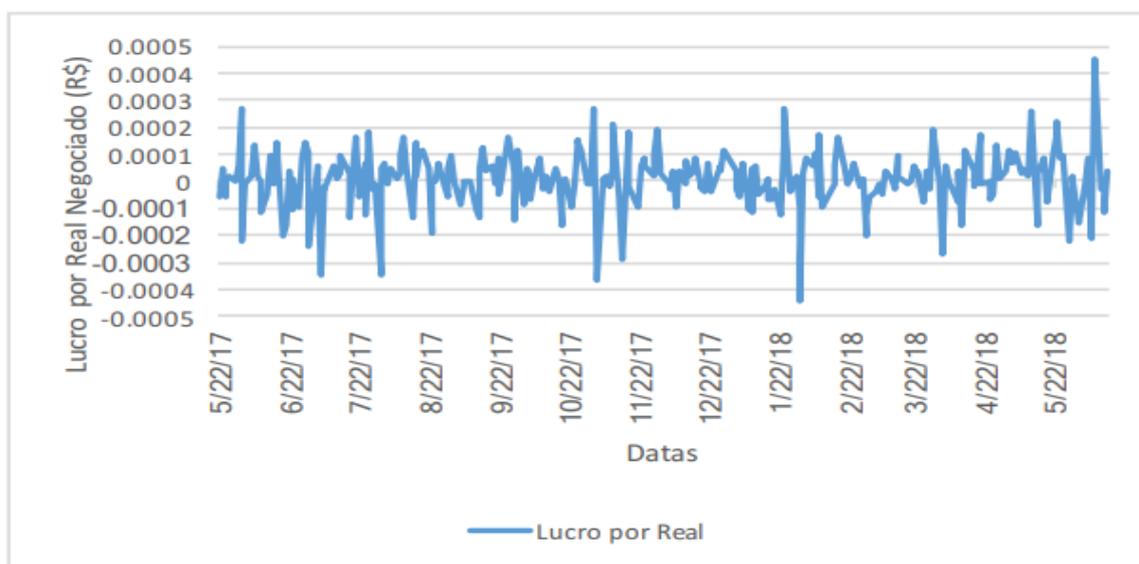
Tem-se ainda, a soma dos dois termos a ser multiplicada por 50 devido ao contrato futuro de câmbio de reais por dólar comercial se referir à entrega de US\$ 50 mil e a taxa de câmbio sendo representada em unidades de real por 1.000 unidades de dólar.

O Gráfico 5 mostra a série temporal do lucro bruto diário do grupo que usam HFT no período de 22/05/2017 a 22/05/2018, no qual indica um lucro médio de R\$ 16,481,89 por dia.



**Gráfico 5** – Série histórica de lucro de investidores que usa estratégias de HFT.  
Fonte: MAAZ (2018)

Em contrapartida, o Gráfico 6, mostra informações sobre a série histórica de lucro diário por real negociado.



**Gráfico 6** – Série histórica de lucro de investidores que usa estratégias de HFT por real negociado  
Fonte: MAAZ (2018)

No Gráfico 6 apresenta a série histórica de lucro de investidores que usam estratégias de HFT no qual estima-se em média que, o lucro por unidade de real negociada de contratos futuros de dólar comercial foi de R\$ 0,0004217.

### **3.2 O HFT nas operações do Dólar Futuro (DOLFUT) da bolsa de valores**

### 3.2.1 Influência do HFT nas oscilações de preços dos ativos

Antes do evento de 2010, os investidores tinham uma visão muito positiva com relação aos HFTs, que segundo Aldridge (2010), são justificadas pelos rendimentos e vantagens obtidas.

Esse evento conhecido como *Flash Crash Day*, foi uma quebra trilionária nas bolsas de valores norte-americanas, que em torno de 30 minutos, os índices de ações, futuros, opções e fundos de mercado apresentaram uma súbita queda de preços superior a 5% seguido por outra súbita recuperação (KIRILENKO, 2011).

Kirlenko (2011) cita que investidores se assustaram com episódio, em que um *trader* foi o responsável, ao usar *softwares* de investimento, a fim de enganar robôs de investimentos participando do mercado, em especial os de alta frequência, responsáveis por boa parte do volume negociado no dia.

Com isso, o evento *Flash Crash* provocou um receio no mundo todo levando a discussões e debates a respeito da estrutura e estabilidade do mercado financeiro americano com uso das operações HFTs (MONTINI, 2014).

No geral, as discussões apresentavam argumentos contra o uso de algoritmos de alta frequência, insinuando que os computadores não seriam capazes de realizar corretamente análises da natureza da empresa e do que elas fazem (ARAÚJO, 2017).

Além disso, o receio dos investidores de HFT foi crescente devido aos altíssimos volumes financeiros de transação que dominavam o mercado, já que o acionamento descontrolado de ordens de entrada ou saída gerava muita volatilidade e alterava o equilíbrio do mercado (ARAÚJO, 2017).

De acordo com Phillips (2010), a Comissão de Valores Mobiliários dos Estados Unidos criou diversas regulamentações para prevenir problemas parecidos no futuro, gerando confiança aos investidores de HFT.

Além disso, o *Commodity Futures Trading Commission* (CFTC) ou Comissão de Negociação de Futuros de Commodities, uma agência independente do governo dos Estados Unidos, que regula os mercados de futuros e opções, concluiu que foi apenas o *trader*, o responsável pelo *Flash Day* e não os robôs de investimento de alta frequência que causaram o evento, mas que contribuíram para o fato, ao exigir retorno imediato do mercado. A partir disso, o mercado passou a ver novamente, a utilização de algoritmos de alta frequência de maneira positiva (WEINBERG, 2015).

Caivano (2015) realizou um estudo do impacto do HFT na volatilidade dos preços das ações durante o período 2011-2013 para uma amostra de 35 *blue chips* (ações de grandes empresas, já consolidadas no mercado) negociadas na bolsa italiana, no qual demonstrou que o aumento da atividade dos HFTs causa um aumento estatisticamente e economicamente significativos à volatilidade.

Ou seja, Caivano (2015) observou que um aumento de um desvio padrão da atividade de HFT realizada por empresas de HFT 'puras' aumenta a volatilidade em um valor entre 0,5 e 0,8 de desvios padrão.

Isso significa que, se a atividade de HFT aumenta em dez pontos percentuais, a volatilidade intradiária anualizada e tem seu valor aumentado entre quatro e seis pontos percentuais, dependendo da especificação usada (CAIVANO, 2015).

E, ao levar em consideração a atividade desenvolvida pelos bancos de investimento, o impacto de um aumento de dez pontos percentuais da atividade de HFT leva a um aumento da volatilidade anualizada em um montante entre três e cinco pontos percentuais (CAIVANO, 2015).

Por isso, Brush (2010) cita que os *traders* precisam ter cuidado, pois o uso de HFT não é necessariamente maléfico ao mercado, mas se usado em excesso, no geral, aumenta o número de transações, causando pressão de compra e venda incomuns que, conseqüentemente tornará o mercado mais volátil.

### **3.3 Importância de HFT no nível de atividade de mercado**

Para entender a importância do HFT no nível de atividade de mercado, primeiramente é realizada uma análise sobre o nível de atuação de investidores que utilizam de algoritmos de alta frequência ao negociar contratos futuros de dólar dos Estados Unidos investigando como e quanto essa prática pode afetar a dinâmica das negociações dentro da bolsa de valores brasileira (MAAZ, 2018).

Visando levantar as negociações na bolsa e a parcela média do volume de contratos futuros de dólar na bolsa de valores de São Paulo, verificou-se que pelo menos um investidor utiliza-se dos algoritmos de alta frequência. E com base em cada um dos dias da amostra, calculou-se os valores com os seguintes dados estatísticos (MAAZ, 2018).

- Valor mínimo;
- Primeiro quartil;

- Média;
- Mediana;
- Terceiro quartil;
- Valor máximo; e
- Desvio padrão.

Para isso, dividiu-se o número total de contratos com transações que envolveram operações de HFT pelo total de contratos em todas as operações ao longo de um dia. Isso foi feito mais duas vezes para conseguir uma visão mais precisa sobre os mecanismos que os investidores de alta frequência preferem utilizar no mercado de dólar futuro (MAAZ, 2018).

Primeiramente, foram consideradas operações feitas com algoritmos de alta frequência que demandaram liquidez de outros participantes do mercado. Depois, de realizar o processo mais uma vez, considerou-se apenas operações em que os HFTs forneceram liquidez para outros participantes (MAAZ, 2018).

A Tabela 3 apresenta o nível de participação de investidores que utilizam estratégias HFT.

**Tabela 3 – Nível de participação de investidores que utilizam estratégias HFT**

	Total	Demanda de Liquidez	Fornecimento de Liquidez
Mínimo	0,5577	0,2656	0,3661
25%	0,7590	0,5810	0,4950
Média	0,7792	0,6035	0,5249
Mediana	0,7828	0,6128	0,5199
75%	0,8080	0,6370	0,5500
Máximo	0,9799	0,7877	0,8963
Desvio Padrão	0,0465	0,0574	0,0574

Notas: dados numéricos arredondados.

Fonte: Maaz (2018)

Segundo os estudos feitos por Maaz (2018), a coluna total mostra que os investidores que utilizam técnicas HFT correspondem, em média, por aproximadamente 77,92% do volume diário das operações com contratos futuros de dólar comercial, variando entre 75,9% e 97,99%.

Além disso, Maaz (2018) descreve que foi observado que investidores que utilizam algoritmos de alta frequência demandam liquidez em contratos futuros da moeda real por dólar comercial de outros investidores, para uma média diária de

60,35% do volume total negociado, diante de 52,49% observados que forneceram liquidez.

Entretanto, os valores ficaram acima das estimativas obtidas no mercado americano. Esta estimativa consistente com o nível médio de participação de 70% conseguidos por Brogaard (2010) para operações feitas nas bolsas *National Association of Securities Dealers Automated Quotations* (NASDAQ) e *Better Alternative Trading Systems* (BATS)<sup>13</sup>, considerando que os valores obtidos na bolsa brasileira são exagerados, uma vez que a prática de HFT em países desenvolvidos é muito mais disseminada.

Para esse estudo foi considerado que todas as operações realizadas pelos *Big Players*<sup>14</sup> trata-se de HFT, devido as instituições financeiras de grande porte oferecem uma ampla variedade de serviços e maneiras de atuação no mercado, entretanto, a B3 não disponibiliza dados precisos para tais estudos.

### **3.4 Nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT no mercado de Dólar Futuro**

A pesquisa de Maaz (2018) realizada no período de 22/05/2017 a 14/06/2018, objetivou estimar o nível de correlação entre as estratégias de HFT utilizadas nas operações com contratos futuros, de taxa de câmbio em moeda real (R\$) por dólar americano comercial (US\$) dentro do mercado brasileiro.

Observou-se que, assim como nas bolsas NASDAQ e BATS, as instituições financeiras que utilizam algoritmos de alta frequência representaram uma média de 70% do volume total negociado de contratos futuros de dólar comercial na bolsa de valores paulista.

A pesquisa demonstrou também que, o valor ficou muito acima dos 13,8% de volume financeiro divulgados pela CVM em 2015, no qual apontou que 36,43% dos

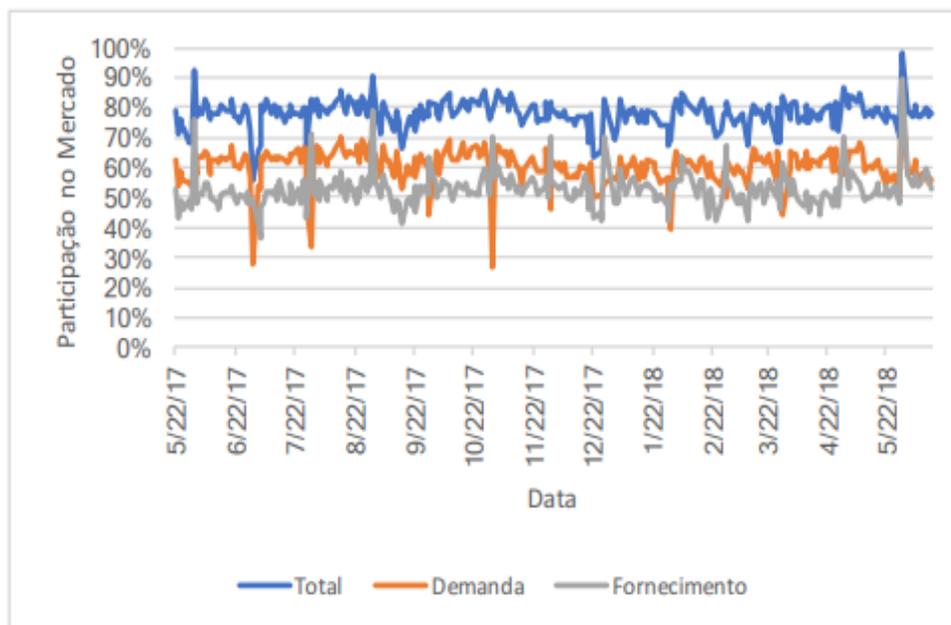
---

<sup>13</sup> **BATS:** era uma bolsa com sede nos Estados Unidos que listava vários tipos diferentes de investimentos, incluindo ações, opções e câmbio estrangeiro. Foi fundada em 2005 e foi adquirida pela CBOE Holdings (CBOE) em 2017. Antes de ser adquirida, a BATS Global Market era uma das maiores bolsas dos EUA e bem conhecida por seus serviços para corretoras, bem como investidores de varejo e institucionais.

<sup>14</sup> **Big Player:** são *players* institucionais são aqueles participantes com real poder de controlar o preço através da manipulação do volume. São os chamados “grandes players” ou “bigplayers” ou, ainda, o “dinheiro esperto”.

cinco mil contratos negociados por dia, representam menos de 10% do volume para contratos futuros de dólar padrão e mini dólar<sup>15</sup>.

O Gráfico 7 contém informações sobre o nível de participação de investidores que utilizam estratégias de negociações algorítmicas de alta frequência para realizar operações com contratos futuros de dólar comercial, ao longo do período de pesquisa, isto é, 22/05/2017 a 14/06/2018.



**Gráfico 7** – Nível de participação de investidores que utilizam estratégias de HFT  
Fonte: Maaz (2018)

O Gráfico 7 demonstra que apesar do nível de participação dos investidores variar, é possível observar que não há nenhuma anomalia entre o total (linha azul), a demanda (linha laranja) e o fornecimento (linha cinza) e que, mesmo em importantes eventos do mercado financeiro, não variaram drasticamente e seguiram a mesma tendência.

Maaz (2018) descreveu ainda que, o nível de participação dos investidores é influenciado pela volatilidade de mercado e da taxa de câmbio futura, assim como, o número de contratos em aberto.

Por fim, notou-se elevados níveis de correlação, por meio de uma análise da relação entre a demanda futura do ativo financeiro e as estratégias utilizadas por

<sup>15</sup> **Mini dólar:** corresponde a 20% do contrato futuro de dólar e pode ser entendido como um compromisso de compra ou venda da moeda norte-americana em uma determinada data.

operadores de HFT, resultou em comportamento de manada<sup>16</sup> e utilização de mecanismos de retroalimentação positiva (MAAZ, 2018).

### 3.4.1 Comportamento dos investidores que adotam estratégias de HFT

A pesquisa realizada por Maaz (2018) mostrou ainda que existe o chamado comportamento de manada pelos operadores HFT do mercado de dólar futuro americano na bolsa de valores de São Paulo, uma vez que realizaram operações parecidas, independente do horizonte de tempo analisado.

Segundo Lakonishok (1992), o comportamento de manada no contexto de mercado é caracterizado por compreender a tomada de uma posição semelhante por parte de um número desproporcional de investidores, com relação a um ativo financeiro ao longo de um determinado período.

Para chegar a essa conclusão, o primeiro passo foi determinar a medida de intensidade do comportamento de manada proposta por Lakonishok (1992) ao longo de um determinado período de atividade do mercado.

Conforme Lakonishok (1992), o comportamento de manada se baseia na suposição de que, em condições normais, o aumento das posições de operadores compradores de um ativo financeiro será equivalente à diminuição da posição de investidores vendidos nesse mesmo ativo ao longo de um determinado período de tempo.

Para exemplificar como esse comportamento funciona, Brogaard (2010) descreve uma situação hipotética, em que falta um específico produto em todos supermercados do mundo. O fato de poucas pessoas começarem a comprar grandes quantidades para estocar o item por determinado período, fez que com que outras pessoas fossem em busca dele também.

Tendo por objetivo avaliar a presença de efeito de manada entre os investidores que usam as estratégias de HFT para fazer operações com contratos futuros de taxa de câmbio em reais por dólar comercial na bolsa Brogaard (2010) utilizou-se de uma metodologia que determinou a medida de intensidade do comportamento de manada.

---

<sup>16</sup> **Comportamento de manada:** é um termo usado para descrever situações em que indivíduos em grupo reagem todos da mesma forma. O efeito manada ocorre, principalmente, na bolsa de valores quando surgem boatos sobre uma empresa e boa parte dos indivíduos vendem suas ações, levando o preço à queda.

O valor da estatística, segundo Brogaard (2010) fundamenta-se no pressuposto de que, em condições normais, o aumento no valor das posições de investidores que obtiveram um ativo financeiro será correspondente a diminuição do valor das posições de investidores que venderam este próprio ativo ao longo de um certo tempo.

Logo, seria possível constatar a presença de comportamento de manada, com base na análise de que houve um desequilíbrio entre a quantidade de participantes que ampliaram suas posições e o número de participantes que liquidaram suas posições (BROGAARD, 2010).

Maaz (2018) em sua pesquisa, cita que a medida de comportamento de manada das estratégias de HFT para contratos futuros de taxa de câmbio em reais por dólar comercial ao longo de um determinado período é dada pela equação abaixo:

$$HFT_i = \left| \frac{B_i}{B_i - S_i} - 0,5 \right| - 0,5T_i^{-1}$$

Onde:

- **B<sub>i</sub>**: é o número de contratos futuros de dólar comercial comprados no período de tempo em questão;
- **S<sub>i</sub>**: é o número de contratos futuros de dólar comercial vendidos no período de tempo em questão; e
- **T<sub>i</sub>**: é o número total de contratos futuros de dólar comercial negociados no período de tempo em questão.

Primeiramente, foram divididos os dias de negociação da amostra em intervalos de dez segundos. Em seguida, foi calculado o valor da medida de comportamento de manada ao longo de cada intervalo de tempo considerando todas as operações com contratos futuros de dólar comercial que contaram com a participação de operadores HFT (MAAZ, 2018).

Na sequência, foi necessário determinar os valores médios da medida de comportamento de manada ao longo de cada dia de negociação; depois o nível médio diário ao longo do período contemplados pelo conjunto de dados utilizados no estudo, bem como o valor da estatística *t* de *student* correspondente (MAAZ, 2018).

Após, repetiu-se os passos para intervalos de trinta segundos, dois minutos e quinze minutos a fim de verificar se os operadores de HFT mantém posições parecidas durante diferentes períodos de tempo (MAAZ, 2018).

Por fim, repetiu-se o experimento para cada um dos períodos de tempo antes mencionados levando em consideração primeiramente apenas operações que operadores de HFT demandantes de liquidez do mercado e depois, apenas operações em que forneceram liquidez, no intuito de verificar se os investidores apresentariam comportamentos diferentes de acordo com a forma de atuação no mercado (MAAZ, 2018).

Os resultados estão apresentados na Tabela 4:

**Tabela 4 – Valores diários médios de HFT**

Intervalo de Tempo	Total		Demanda de Liquidez		Fornecimento de Liquidez	
	Média	Estatística t	Média	Estatística t	Média	Estatística t
10 segundos	0,1347	75,9160**	0,1035	67,7922**	0,0589	54,7711**
30 segundos	0,1363	85,4087**	0,1105	69,4883**	0,07574	78,4281**
2 minutos	0,08728	87,4653**	0,07289	69,4595**	0,05953	77,9892**
15 minutos	0,03856	30,4065**	0,03074	63,7368**	0,02717	26,1007**

Notas: dados numéricos arredondados

Códigos de significância: 0 (\*\*\*), 0,001 (\*\*), 0,05 (\*), 0,1 (.)

Fonte: MAAZ, 2018

Maaz (2018) menciona que os valores apresentados na Tabela 4 indicam a existência do comportamento de manada entre investidores que utilizam da estratégia de HFT para negociar contratos futuros de dólar comercial, independentemente do período de tempo ou forma de atuação. Porém, é possível observar que quanto maior o intervalo de tempo analisado, menor o comportamento de manada.

### 3.5 O HFT e sua influência na liquidez do mercado

Segundo Talking Money (2021), a liquidez pode ser descrita por três medidas:

- Tamanho;
- Preço; e
- Hora.

A alta liquidez, se dá pelo fato de um investidor poder negociar com sucesso uma grande ordem perto do preço atual de mercado em um curto período de tempo. Vale também lembrar que, a alta liquidez inspira a confiança e atrai a participação, pois eles sentem que poderão entrar e sair de operações pagando pouco *spread*, que

é a diferença entre o preço de compra e venda de uma ação, título ou transação monetária.

Os estudos realizados por Hendershott (2011) examinou a correlação entre o crescimento do uso de algoritmos HFT e a melhoria da liquidez ao longo de um período de cinco anos, no qual observou-se que, conforme a negociação algorítmica cresce, a liquidez melhora.

Diversas estratégias usadas pelos HFTs fornecem liquidez aos mercados. Nessa linha, eles podem desempenhar o papel de formadores de mercado formais ou informais. Como formadores de mercado, ou *market makers*<sup>17</sup>, os algoritmos de alta frequência enviam ordens limitadas de compra e venda de limite eletrônico simultaneamente, proporcionando liquidez aos outros participantes do mercado que procuram negociar naquele momento (TALKING MONEY, 2021)

A maioria dos *market makers* busca ganhar o *spread bid-ask*<sup>18</sup> comprando na oferta e vendendo no *ask*<sup>19</sup>. Como os HFTs correm o risco de perder dinheiro para outros participantes, eles precisam atualizar suas cotações rápido o suficiente para refletir as informações atuais (TALKING MONEY, 2021).

Isso muda a todo momento com movimentos de preços em instrumentos de preços diretamente relacionados, como o Exchange Traded Fund (ETF<sup>20</sup>) ou Fundo de Índice ou envios de outros participantes que foram cancelados. Esse processo funciona de maneira contínua, onde os algoritmos enviam e cancelam ordens a todo momento durante todo o pregão (TALKING MONEY, 2021).

No mercado americano, existe um incentivo que o desconto nas taxas para quem se cadastrar como fornecedor de liquidez, isso fez com que muitos usuários de HFT se inscrevessem formalmente como fornecedores de liquidez, mas vale lembrar que ainda existem diversos outros *Market makers* informais. Nesse sentido, o HFT aumenta a liquidez do mercado e reduz os custos de negociação (TALKING MONEY, 2021).

---

<sup>17</sup> **Market maker:** é um participante do mercado que se compromete a manter ofertas de compra e venda de um ativo dando liquidez a ele. Em geral, quem faz a função de *market maker* são os bancos, corretoras e demais instituições financeiras contratadas para essa finalidade.

<sup>18</sup> **Spread bid-ask:** é a diferença entre as ofertas do topo do book de compra e venda.

<sup>19</sup> **Ask:** é o termo que define a oferta de preço mais baixo da venda, então, é o “topo de book” da venda.

<sup>20</sup> **ETF:** são fundos de investimentos negociados em bolsa que replicam o desempenho de um índice de referência.

#### 4 IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO HFT EM UM FPGA

Nesse capítulo, apresenta-se a tradução para a língua portuguesa (Brasil) do artigo de CHOW (2017) que analisa os aspectos de implementação de um sistema HFT utilizando FPGA, junto a isso, realizou-se a adição de explicações e esclarecimentos adicionais.

Ao realizar uma pesquisa seja em livros ou na internet sobre a *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociação de Alta Frequência encontra-se muito conteúdo relacionado a teoria, nas quais muitos questionamentos surgem tais como: O que é High Frequency Trading? ou quais as principais características de um HFT? (SILAHIAN, 2020).

Ambas podem ser facilmente respondidas pelas pesquisas, mas quando se trata sobre a prática de HFT, a busca torna-se difícil, principalmente quando se relaciona a informações detalhadas, uma vez que algoritmos de negociação de alta frequência, normalmente pertencem a grandes bancos, fundos de investimentos e grandes investidores (SILAHIAN, 2020).

De acordo com Silahian (2020), o *software* seria a parte mais caro quando se trata de algoritmo de negociação em alta frequência, tendo em vista que, para alugar um algoritmo de alta frequência já pronto para atuar na bolsa custaria por volta de dez a vinte mil dólares por mês.

Dessa forma, as empresas responsáveis por alugar algoritmos HFT não demonstram como os fazem, mas apresentam apenas uma ideia de como eles realmente funcionam, tornando-se difícil a customização. Por isso, recomenda-se contratar uma equipe especializada para desenvolver o próprio HFT, uma vez que o investidor irá customizar e conhecer completamente a estratégia que o algoritmo está executando.(SILAHIAN, 2020)

Em 2017, Chow; *et al.* (2017) publicaram um artigo baseado em FPGA usando síntese de alto nível, no qual apresentaram uma estrutura altamente otimizada que implementa componentes de sistema de baixa latência em C++ usando HLS, em um FPGA Xilinx Kintex® UltraScale™ rodando a 156MHz.

E, com base neste artigo, tem-se a descrição dos demais itens que compõem esta seção.

## 4.1 FPGA

Sulaiman (2009), menciona que o HFT é sinônimo de velocidade e, quanto mais rápido os algoritmos de um computador conseguirem analisar a bolsa de valores e realizar ordens de negociação, maior será o lucro do investidor.

E, nas menções de Sulaiman (2009), para diminuir o tempo necessário para a transmissão de dados do mercado, fundos de *hedge* e bancos de investimento, muitos investidores institucionais gastam dinheiro em *softwares* mais rápidos, instalações de computadores mais próximos das bolsas de valores e redes com menor latência, ou seja, quanto menor for a latência, menor será o tempo necessário para que um dado trafegue de um lugar para outro.

Assim, ao mencionar sobre aceleração de *hardware*, a solução em geral é descarregar porções de poder computacional das funções de negociação para GPUs<sup>21</sup>, FPGAs ou processadores customizados (SULAIMAN, 2009).

Para Sulaiman (2009), os FPGAs, são *chips* desenvolvidos que possuem internamente vetores de duas dimensões de *flip-flops*<sup>22</sup> e blocos lógicos com conexões elétricas entre os blocos.

Em virtude de o FPGA ser programável, é possível elaborar rapidamente diferentes modelos de circuitos elétricos sem a necessidade de mandar para a fabricação (SULAIMAN, 2009).

Isto significa que é um item de *hardware*<sup>23</sup> intermediário de desenvolvimento que pode ser usado para prototipação ou trabalhos específicos, cujo volume não justifica a fabricação em circuitos específicos (SULAIMAN, 2009).

A grande capacidade e a programabilidade dos *chips* FPGA são importantes, entretanto, são a arquitetura paralela e a natureza determinística do *hardware* são os responsáveis para reduzir as latências de ida e volta e, deste modo, aumentar os volumes de *trade* (SULAIMAN, 2009).

Os FPGA não possuem uma arquitetura de processador fixa, contendo a sobrecarga do sistema operacional e todas as interfaces e interrupções padrões da

---

<sup>21</sup> **GPU**: unidade de processamento gráfico, chip responsável por processar a renderização de gráficos em tempo real.

<sup>22</sup> **Flip-Flop**: circuito digital que pulsado é capaz de servir como memória de um bit.

<sup>23</sup> **Hardware**: todo componente físico, interno ou externo de um dispositivo eletrônico.

CPUs<sup>24</sup>. Os caminhos de processamento neste *hardware* são paralelos, portanto, funções distintas não necessitam competir pelos mesmos recursos operacionais (SULAIMAN, 2009).

A realização de cálculos matemáticos em baixo nível só é possível com relação a algoritmos simples que são capazes de ser divididos em um grupo de tarefas e os blocos funcionais separados conseguem então ser processados em divergentes.

Evans (2021, p. 31) menciona que a arquitetura paralela do FPGA é “o segredo por trás de sua capacidade de realizar ordens de compra e venda de forma rápida”. E, a implementação de um algoritmo em um *hardware* resulta em um elevado nível de determinismo.

Nesse contexto, até nas anomalias de mercado, isto é, quando as redes estão sobrecarregadas de informações, o FPGA conduz rapidamente os dados da área de negociação e vice-versa, independentemente das circunstâncias da rede, pois o *chip* sempre passa pela mesma série, dando a mesma saída para cada entrada fornecida (EVANS, 2021).

Como os acontecimentos de eventos aleatórios nas vias de processamento costumam ser bastante limitados, os componentes do FPGA apresentam uma latência de processamento repetível e previsível (EVANS, 2021).

Além do mais, um número finito de estados operacionais assegura um menor risco de falhas funcionais e uma completa cobertura de teste. Com isso, os usuários dos sistemas acelerados por FPGA possuem uma grande confiabilidade na integridade da saída (EVANS, 2021).

E, devido ao paralelismo e o determinismo, Evans (2021) cita que as soluções FPGA são capazes de acelerar consideravelmente o cálculo de modelos matemáticos e a transmissão de dados para os motores de correspondência das bolsas de valores.

Então, a utilização de plataformas FPGA em negociações de alta frequência, possibilita às empresas limpar, enriquecer, coletar e disseminar uma gama de dados financeiros que se modificam em pequenos prazos. E sem carregar uma CPU, o FPGA é apto a realizar de forma rápida várias tarefas de negociação, que entre outras incluem (EVANS, 2021):

- Analisar de forma contínua, os cenários de valor e perda de carteiras financeiras;

---

<sup>24</sup> **CPU**: unidade central de processamento, responsável por processar todas as operações realizadas em um dispositivo eletrônico.

- Fazer verificações de preço, volume e garantia antes da negociação;
- Examinar os dados recebidos, dando filtragem, decodificação e normalização dos dados.
- Calcular rendimentos de investimentos de renda fixa, preço de títulos e seus derivados.

Leber, Geib e Litz (2011) mencionam em seu artigo, um exemplo de uma aplicação FPGA em uma aceleração HFT, no qual expõe uma solução para processar os pacotes de dados o mais rápido possível, para que a latência e análise dos dados sejam realizados no menor tempo.

Isso, segundo Leber, Geib e Litz (2011, p. 40), se deve ao fato que as placas FPGA “trabalham eficientemente com um alto fluxo de dados e, assim, proveem uma grande vantagem em velocidade se forem comparadas a computadores de propósito geral”. Assim, a aplicação FPGA em uma aceleração HFT, opera sobretudo no pacote de mensagens que chegam da bolsa de valores com informações sobre os ativos.

Contudo, neste trabalho não são criados modelos para tomada de decisão e o processamento dos pacotes de dados o mais rápido possível, para que a latência e *oparsing* dos dados sejam realizados no menor tempo, como o artigo de Leber, Geib e Litz (2011), mas sim, a camada de comunicação de dados realizada via interface Ethernet seguindo o protocolo de comunicação *User Datagram Protocol* (UDP), que tem, como característica essencial, enviar, pela mesma saída, dados para diversas máquinas diferentes sem problema algum.

E, como a ideia da aplicação FPGA em uma aceleração HFT é a de aumentar a velocidade de recepção de dados, usar a comunicação UDP, que não tem controle de fluxo, torna-se interessante pelo fato que as placas FPGA atuam eficientemente com elevado fluxo de dados e, deste modo, oferecer vantagem em velocidade se comparar a computadores de propósito geral.

## **4.2 Linguagens de programação para o desenvolvimento de algoritmos de alta frequência**

Como descrito anteriormente, quando o assunto é HFTs, o sinônimo é velocidade. Os *traders* de alta frequência possuem um trabalho semelhante a outros *trades* quantitativos, um tipo de estratégia que tem como base, testar entradas e

saídas por meio de uma Inteligência Artificial (IA), através de *machine learning*<sup>25</sup>, com o objetivo de sinalizar e aprimorar os melhores pontos de entrada e saída de uma operação e ter uma performance melhor, porém em horizontes de tempo muito mais curtos.

Dessa forma, para escolher uma linguagem de programação para trabalhar em negociações de alta frequência, exige-se utilizar a mesma onde deve-se priorizar a velocidade.

As linguagens como C++ ou C são linguagens de programação mais usadas - porém não exclusivas no desenvolvimento de HFT - conhecidas pela velocidade de execução, onde pode-se ter interessantes melhorias de velocidade em relação as linguagens de Script<sup>26</sup>, contudo, dificilmente um HFT vai operar exclusivamente em linguagem de programação de alto nível que se dá pelo quão próximo sua sintaxe é de mais fácil entendimento para o ser humano. Isso significa, uma linguagem de alto nível tem sintaxe mais parecida com a linguagem que o ser humano utiliza para se comunicar. E para conseguir ainda mais vantagens relação a velocidade, deverá efetuar um estudo mais profundo sobre a linguagem *Assembly*<sup>27</sup> e ter grandes conhecimentos de redes de computadores e *hardware*, como por exemplo o FPGA (CARVER, 2020).

De acordo com Carver (2020), o fato de trabalhar com grandes quantidades de dados, a familiaridade com o ecossistema *Hadoop*<sup>28</sup> acaba se tornando de vital importância, entretanto, a linguagem *Python*<sup>29</sup> é bem popular no comércio de alta

---

<sup>25</sup> **Machine Learning:** é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que sistemas podem aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana.

<sup>26</sup> **Linguagem de Script:** é uma linguagem de programação que suporta scripts, programas escritos para um sistema de tempo de execução especial que automatiza a execução de tarefas que seriam executadas, uma de cada vez, por um operador humano. Linguagens de script são frequentemente interpretadas.

<sup>27</sup> **Assembly:** é uma notação legível por humanos para o código de máquina que uma arquitetura de computador específica usa, utilizada para programar códigos entendidos por dispositivos computacionais, como microprocessadores e microcontroladores.

<sup>28</sup> **Hadoop:** é uma plataforma de software em Java de computação distribuída voltada para clusters e processamento de grandes volumes de dados, com atenção a tolerância a falhas.

<sup>29</sup> **Python:** é uma linguagem de programação de alto nível, interpretada de script, imperativa, orientada a objetos, funcional, de tipagem dinâmica e forte.

frequência, porém, linguagens mais recentes como Go<sup>30</sup> são mais apropriadas para o processamento simultâneo de conjuntos de *big data*<sup>31</sup>.

O HFT trabalha com uma grande quantidade de dados e com velocidade, no qual é indicado a utilização de banco de dados colunar, ao invés dos bancos de dados de convencionais e relacionais sendo esses, de extrema importância (CARVER, 2020).

No geral, o banco de dados do tipo relacional<sup>32</sup> é otimizado para guardar linhas de informações, o banco de dados colunar é otimizado a fim de recuperação rápida de colunas de dados em aplicativos analíticos (CARVER, 2020).

Já a performance de consulta analítica do banco de dados do tipo relacional está diretamente ligada com o armazenamento de dados, em que é orientado a colunas e possui uma redução expressiva dos requisitos de *input* e *output* (I/O) de disco e diminui a capacidade de dados demandando carregar do disco (CARVER, 2020).

Como nos demais bancos de dados, o NoSQL<sup>33</sup>, possui bancos de dados colunar e foram elaborados a fim de aumentar a escala horizontal utilizando *clusters* distribuídos de *hardware* de baixo custo com finalidade de elevar a taxa em que os dados são transmitidos, o que os torna sugestões para um processamento de *Big Data* e *Data Warehousing*, que possuem um tipo de sistema de gerenciamento de dados projetado para ativar e fornecer suporte às atividades de *Business Intelligence* (BI), especialmente a análise avançada.

### 4.3 Trabalhos prévios usando FPGAs

---

<sup>30</sup> **Go**: é uma linguagem de programação criada pela Google e lançada em código livre em novembro de 2009. É uma linguagem compilada e focada em produtividade e programação concorrente, baseada em trabalhos feitos no sistema operacional chamado Inferno.

<sup>31</sup> **Big Data**: é a área do conhecimento que estuda como tratar, analisar e obter informações a partir de conjuntos de dados grandes demais para serem analisados por sistemas tradicionais.

<sup>32</sup> **Banco de dados relacional**: é um modelo de dados representativo, adequado a ser o modelo subjacente de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, que se baseia no princípio de que todos os dados estão armazenados em tabelas. Toda sua definição é teórica e baseada na lógica de predicados e na teoria dos conjuntos.

<sup>33</sup> **NoSQL**: é um termo genérico que representa os bancos de dados não relacionais. Uma classe definida de banco de dados que fornecem um mecanismo para armazenamento e recuperação de dados que são modelados de formas diferentes das relações tabulares usadas nos bancos de dados relacionais.

Como já mencionado, os sistemas de HFT necessitam de uma latência muito baixa para funcionar, o que teoricamente favoreceria o uso de *Application Specific Integrated Circuits* (ASICs)<sup>34</sup> ou circuitos integrados de aplicação específica, para minimizar a sobrecarga com componentes desnecessários (CHOW, 2017).

No entanto, os algoritmos HFT e os protocolos financeiros possuem numerosas variações e estão mudando dinamicamente de uma forma que se torna impossível usar o ASICs (CHOW, 2017).

Dessa forma, os FPGAs são considerados uma solução muito atraente para acelerar o sistema de HFT devido a sua flexibilidade no contexto de circuitos integrados e capacidade de mudanças em algoritmos implementados (CHOW, 2017).

A maioria das pesquisas sobre esse domínio conforme Tabela 5, enfocam a aceleração do sistema atingindo apenas em partes, tendo um *software*<sup>35</sup> baseado em algoritmo de negociação financeira implementado em uma CPU *host*.

Esse tipo de CPU é qualquer computador ou máquina conectado a uma rede, que conta com número de *Internet Protocol* (IP) ou Protocolo da Internet e nome definidos. Essas máquinas são responsáveis por oferecer recursos, informações e serviços aos usuários e clientes (CHOW, 2017).

**Tabela 5 – Sumário de trabalhos anteriores**

Work	FPGA Blocks <sup>a</sup>			Latency ( $\mu$ s)	Design Method	Financial Algorithm <sup>b</sup>
	NT	FP	OB			
[6]	✓	✓	✗	2.6	RTL	SW
[8]	✗	✗	✓	0.25	RTL	–
[9]	✗	✗	✓	0.4 - 0.7	MaxJ	–
[7]	✓	✓	✗	0.5 - 1.3	HLS	SW
[3]	✓	✓	✓	1 <sup>c</sup>	RTL	HW (HDL)
Our Work	✓	✓	✓	0.87	HLS	HW (C++)

<sup>a</sup>Networking (NT), Financial Parsing (FP), Order Book Handling (OB)

<sup>b</sup>Software-based (SW), Hardware-based (HW)

<sup>c</sup>Round-trip latency does not include order book handling.

Fonte: CHOW (2017)

A razão para o uso de uma CPU *host* o é a grande complexidade de *design* e tempo necessários para construir um *hardware* para esses algoritmos que mudam tão

<sup>34</sup> **Application Specific Integrated Circuits (ASICs)**: circuitos integrados de aplicação específica, são circuitos orientados para implementação de tarefas específicas em domínios bem definidos.

<sup>35</sup> **Software**: é um termo técnico que foi traduzido para a língua portuguesa como suporte lógico e trata-se de uma sequência de instruções a serem seguidas e/ou executadas, na manipulação, redirecionamento ou modificação de um dado ou acontecimento.

rapidamente. Isso requer experiência em design de *hardware*, o que não é comum entre desenvolvedores de *software* de HFT (CHOW, 2017).

Como exemplo de tais sistemas, Leber, Geib e Litz (2011) propuseram realizar um *offloading*<sup>36</sup> da pilha<sup>37</sup> de rede, que consiste em transferir computações intensivas para um outro processador, seja por causa de limitações do dispositivo ou para melhorar performance, consumo de bateria ou memória, bem como implementar uma decodificação de fluxo múltiplo de pacotes financeiros em um FPGA Virtex-4.

Os pacotes decodificados são então enviados para o servidor *host*<sup>38</sup> para manuseio e processamento do *book* (de compra e venda) com base em um *software*, que com a implementação do código Verilog<sup>39</sup> realiza o comparativo com um servidor de primeira linha com placa de rede atingindo uma latência unidirecional de 2,6 microssegundos, sendo quatro vezes menor quando comparado à que é nada mais que uma placa de rede comum (CHOW, 2017).

Da mesma forma, Tang (2016), apresentou pesquisas com diferentes análises financeiras e núcleos de processamento de pacotes IP<sup>40</sup> implementados em HLS<sup>41</sup>. Esse sistema também descarrega os dados de mercado decodificados para uma CPU *host* usando a interface PCIe<sup>42</sup> para um processamento posterior com uma latência de 0,5-1,3 microssegundos.

---

<sup>37</sup> **Pilha:** é um tipo abstrato de dado e estrutura de dados baseado no princípio de Last In First Out (LIFO), ou seja, o último que entra é o primeiro que sai, caracterizando um empilhamento de dados.

<sup>38</sup> **Servidor *host*:** é uma linguagem de descrição de equipamento físico usada para modelar sistemas eletrônicos ao nível de circuito. Essa ferramenta suporta a projeção, verificação e implementação de projetos analógicos, digitais e híbridos em vários níveis de abstração.

<sup>39</sup> **Verilog:** é uma linguagem de descrição de equipamento físico usada para modelar sistemas eletrônicos ao nível de circuito. Essa ferramenta suporta a projeção, verificação e implementação de projetos analógicos, digitais e híbridos em vários níveis de abstração.

<sup>40</sup> **Pacotes IP:** O IP (Internet Protocol) é o principal protocolo de comunicação da Internet. Ele é o responsável por endereçar e encaminhar os pacotes que trafegam pela rede mundial de computadores. **Pacotes** são os blocos de informações enviados na Internet e podem ser considerados como as cartas enviadas pelo serviço de correios.

<sup>41</sup> **HLS:** O HTTP Live Streaming é um protocolo de comunicação de streaming de taxa de bits adaptável baseado em HTTP, desenvolvido pela Apple Inc. e lançado em 2009.

<sup>42</sup> **PCIe:** PCI-Express é o padrão de comunicação criado em 2003 pelo grupo Intel, Dell, HP e IBM para substituir os padrões PCI, PCI-X e AGP que fazem a comunicação entre placas de expansão e a placa mãe, utilizadas em computadores pessoais para transmissão de dados.

Como uma tentativa de facilitar a implementação de sistemas baseados em FPGA HFT systems, Lockwood (2012) introduziu uma biblioteca de RTL<sup>43</sup> baseada em núcleos IP para lidar com rede, análise de protocolo e manuseio do *book* de ofertas para que os usuários possam se concentrar em desenvolver o *hardware* para seus algoritmos de negociação personalizados.

O sistema implementado em um FPGA Virtex-5 usando os IPs dessa biblioteca segundo Lockwood (2012) alcançou uma latência *end-to-end*<sup>44</sup> de um microssegundo para a pilha da rede e para a análise de protocolo financeiro, sem incluir o manuseio do *book* de ofertas ou a camada de latência do aplicativo. Contudo, usar essa biblioteca ainda requer habilidades extensas de *design* de *hardware* para implementar os algoritmos de negociação financeira em RTL.

Neste trabalho, foi explorado o uso de HLS para projetar um completo *end-to-end* sistema HFT e mostrar que os resultados de latência alcançados são comparáveis aos feitos em RTL, pois ele não só permite que desenvolvedores de algoritmos HFT implementem seus algoritmos em C/C++ como pode facilmente transformá-los em núcleos IP otimizados usando paradigmas simples, mas também, oferece a capacidade de integrar os núcleos IP com uma infraestrutura completa de prateleira para rede, análise de protocolo financeiro e registro de pedidos em blocos com mínimo esforço e experiência em *design* de *hardware* (CHOW, 2017).

#### 4.4 Arquitetura do sistema

O sistema composto por Chow (2017) consiste em três diferentes camadas:

---

<sup>43</sup> **Biblioteca de RTL:** Na programação de computadores, uma biblioteca de tempo de execução é um conjunto de rotinas de baixo nível usadas por um compilador para invocar alguns dos comportamentos de um ambiente de tempo de execução, inserindo chamadas à biblioteca de tempo de execução no binário executável compilado.

<sup>44</sup> **End-to-end:** O princípio de ponta a ponta é uma estrutura de design em redes de computadores. Nas redes projetadas de acordo com esse princípio, os recursos específicos do aplicativo residem nos nós finais de comunicação da rede, e não nos nós intermediários, como gateways e roteadores, existentes para estabelecer a rede.

- **camada de rede:** contém UDP/IP<sup>45</sup> e Ethernet, bem como um *switch*<sup>46</sup> de rede e bloco *timestamper*<sup>47</sup>;
- **camada de análise de protocolo financeiro:** dar-se-à por meio de um decodificador/codificador de protocolo FAST<sup>48</sup>; e
- **camada de aplicação:** que realiza o manuseio do *book* de ofertas que contém o algoritmo de negociação personalizado.

Os módulos das diferentes camadas são organizados como um *pipeline* de *streaming*<sup>49</sup> usando o Protocolo de barramento AXI4-Stream<sup>50</sup> (XILLINX, 2017).

Na sequência tem-se a funcionalidade e arquitetura de cada bloco seguido por uma demonstração de como os desenvolvedores de algoritmos HFT podem aproveitar as vantagens da infraestrutura para desenvolver sistemas HFT completos de ponta a ponta com o mínimo de esforço de *design*.

#### 4.4.1 Camada de rede

Chow (2017) cita que normalmente, os sistemas HFT são construídos em cima de protocolos de rede que usam vários padrões Ethernet, como a camada física, enquanto as camadas de internet são comumente UDP/IP.

O UDP é descrito por Chow (2017) com o preferido entre as alternativas existentes, porque é *connectionless*, um tipo de comunicação sem conexão, muitas

---

<sup>45</sup> **UDP/IP:** O *User Datagram Protocol* é um protocolo simples da camada de transporte. Ele é descrito na RFC 768 e permite que a aplicação envie um datagrama encapsulado num pacote IPv4 ou IPv6 a um destino, porém sem qualquer tipo de garantia que o pacote chegue corretamente. O protocolo UDP não é confiável.

<sup>46</sup> **Switch de rede:** é um dispositivo que simplesmente conecta todos os elementos da sua rede. Ele atua como ponte ou unidade de controle para que computadores, impressoras, servidores e todos os outros tipos dispositivos possam se comunicar.

<sup>47</sup> **Bloco timestamper:** Bloco que contém um registro de data e hora do tipo Unix.

<sup>48</sup> **Protocolo FAST:** é um padrão de tecnologia desenvolvido pela FIX Protocol Ltd., especificamente destinado a otimizar a representação de dados na rede. É usado para oferecer suporte a comunicações de dados de alta produtividade e baixa latência entre instituições financeiras.

<sup>49</sup> **Pipeline de Streaming:** é uma arquitetura de pipeline de dados que lida com milhões de eventos em escala, em tempo real. Como resultado, você pode coletar, analisar e armazenar grandes quantidades de informações. Esse recurso permite aplicativos, análises e relatórios em tempo real.

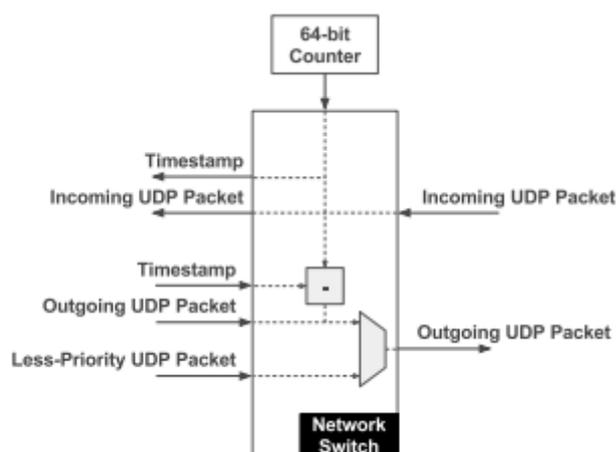
<sup>50</sup> **AXI4-Stream:** é um protocolo usado como interface padrão para conectar componentes que desejam trocar dados. A interface pode ser usada para conectar um único mestre, que gera dados, a um único escravo, que recebe os dados. O protocolo também pode ser usado ao conectar um grande número de componentes mestre e escravo. O protocolo oferece suporte a vários fluxos de dados usando o mesmo conjunto de fios compartilhados, permitindo a construção de uma interconexão genérica que pode realizar operações de *upsizing*, *downsizing* e roteamento.

vezes referida como comunicação no modo CL, que é rápido para codificar/decodificar e é relativamente simples.

Portanto, um fluxo UDP pode ser transmitido para muitos diferentes destinos sem *handshaking*<sup>51</sup> ou seja, quando duas ou mais máquinas afirmam que reconhecem umas às outras e estão prontas para iniciar a comunicação ou retransmissão, e é também um bom ajuste para *streaming* de *hardware*, pois quase nenhum controle de fluxo ou soma de verificação é necessária (CHOW, 2017).

Para implementar a pilha de redes, alavancou-se produtos prontos para uso Ethernet e UDP/IP cores.

A Figura 3 mostra que, ao adicionar um *switch* de rede personalizado para o monitoramento do sistema e multiplexação baseada em prioridade do canal, o *switch* de rede marca todos os pacotes de entrada com *timestamps*<sup>52</sup> sendo anexado a uma mensagem rápida correspondente.



**Figura 3** – Diagrama de blocos do switch customizado da rede  
Fonte: Chow (2017)

Na ocorrência de novas atualizações de mercado e que acionem uma negociação, a operação terá o *timestamps* anexados a pedidos de saída, o que permite um *benchmarking* preciso de latência de ida e volta do sistema (CHOW, 2017).

E, no caso do FPGA estar conectado a uma *Central Processing Unit* (CPU) ou unidade central de processamento para monitoramento remoto pela rede, o *switch* de

<sup>52</sup> **Timestamps**: é uma cadeia de caracteres denotando a hora ou data que certo evento ocorreu. A cadeia é geralmente apresentada num formato consistente, permitindo facilmente, a comparação entre duas marcas temporais distintas.

rede também permite o acesso multiplexado por tempo à rede, priorizando pacotes de pedidos de saída em relação a outros pacotes de monitoramento (CHOW, 2017).

#### 4.4.2 Camada de análise de protocolo financeiro

O protocolo *FAST* é um algoritmo de compressão de dados desenvolvido para transferência de baixa latência de dados de mercado para os *traders* e vice-versa (ROSENBERG, 2006).

Cada mensagem *FAST* contém valores de vários campos que podem definir um pedido de mercado, como preço, tamanho do pedido, tipo, entre outros. E essa mensagem é decodificada pelo receptor com base em um modelo predefinido que especifica o conteúdo e as localizações de diferentes campos.

Devido à falta de modelos disponíveis publicamente para trocas, Chow (2017) criou um modelo para os campos de mensagem *FAST* com base no trabalho de Rosenberg (2006) e está apresentada na Tabela 6.

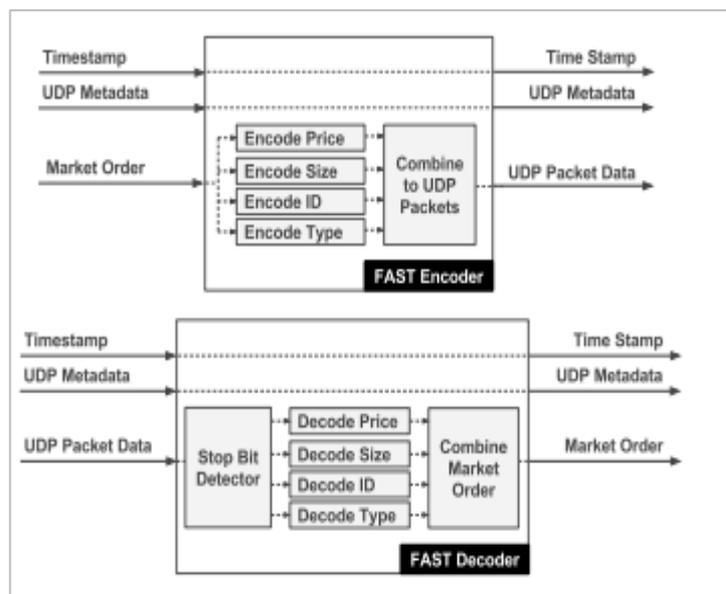
**Tabela 6** – Camada parcial de protocolo financeiro

Field	Offset	Size (Bytes)	Field Description
Presence Map	0	1	Flags fields present in template
Template ID	1	1	Specifies template used
Price (Exponent)	2	1	Specifies the order price in base-10 floating-point format
Price (Mantissa)	3	1-5	
Order Size	4-8	1-2	Specifies size in units of tens
Order ID	9-13	1-5	Specifies a unique order ID
Order Type	14	1	Specifies the order type (Buy/Sell - Market/Limited)

Fonte: CHOW (2017)

Chow (2017) explorou a reconfigurabilidade de FPGAs por meio da construção de *hardware* que suporta apenas as partes necessárias do protocolo financeiro de acordo com o modelo predefinido, em vez de sacrificar a latência para construir um codificador/decodificador genérico que opera com todos os modelos possíveis.

A Figura 4 mostra o diagrama de blocos do *FAST* implementando o decodificador e o codificador.



**Figura 4** – Diagrama de blocos do codificador/decodificador FAST  
 Fonte: CHOW (2017)

A Figura 4 demonstra que o decodificador é o responsável por receber a mensagem *FAST* como pedaços de dados de 64 bits e os concatena e determina os deslocamentos de cada campo detectando os bits de parada (CHOW, 2017).

Os sub-decodificadores individuais, então, operam em diferentes campos em paralelo, fornecendo uma arquitetura escalável semelhante a que Li (2014) descreveu sobre uma estrutura que decodifica os dados do protocolo *FAST* em paralelo, sendo flexíveis para diferentes modelos *FAST*.

Já o codificador recebe uma ordem de mercado acionada da camada de aplicação e codifica todas as suas variáveis na *FAST* compatível com essas variáveis usando o número mínimo de *bytes* possíveis, concatenando-os juntos com os bits de parada, e, os blocos codificados são então enviados para o switch, que agrupa os dados com pacotes UDP antes de enviar pela rede (CHOW, 2017).

Com base nas descrições de Chow (2017), o diagrama de blocos possui os seguintes passos:

- **Manuseio do livro de pedidos:** uma carteira de pedidos pode lidar com até 212 entradas com base em uma estrutura semelhante a uma pilha com um eficiente algoritmo para inserção e exclusão de nós. Um *heap*<sup>53</sup> é uma

<sup>53</sup> **Heap:** é uma estrutura de dados especializada, baseada em árvore, que é essencialmente uma árvore quase completa que satisfaz a propriedade heap: se P é um nó pai de C, então a chave de P é maior que ou igual a ou menor que ou igual a chave de C. O nó no "topo" da heap é chamado de nó raiz.

árvore binária onde cada nó é garantido para ter menos prioridade do que seus dois filhos. Nessa implementação, cada nó de *heap* representa uma estrutura de dados completa, contendo o preço do pedido, tamanho, ID (*Identity* ou identidade) e tipo. A prioridade de nós é atribuída de acordo com o preço do pedido.

Uma vez que a principal preocupação é a latência de inserção/exclusão e o interesse é apenas no topo do *bid and ask*<sup>54</sup>, uma estrutura de pilha para baixo é adotada.

Dessa forma, permitirá, na maioria dos casos, escrever a entrada superior dos *books* de ofertas para o fluxo de saída diretamente após a primeira comparação de forma que, o algoritmo de negociação personalizado poderá iniciar a execução enquanto o resto do *heap* está sendo classificado simultaneamente. Isso também oferece uma solução escalonável já que os tempos de inserção e exclusão não são afetados pelo aumento do tamanho do *book* de ofertas (CHOW, 2017).

A Figura 5 mostra a rotina de inserção básica para o *heap* no sistema construído por Chow (2017), onde *H* é a matriz que armazena os nós da pilha e *H<sub>o</sub>* é a matriz que armazena índices de nós que foram removidos anteriormente da pilha.

```

Input: Heap Array (H), Holes Array (Ho), Input Order (O)
if (numItems < heapSize) then
  if (numHoles == 0) then
    numItems++
    j ← numItems
  else
    numItems++
    numHoles--
    j ← Ho[numHoles]
  end
  i ← log2(j)
  path ← j-2i
  while (currentNodeIndex ≠ j) do
    currentNodeIndex ← getNextNode(path)
    if (O.price > H[currentNodeIndex].price) then
      swap(H[currentNodeIndex], O)
    end
  end
end

```

**Figura 5** – Rotina de inserção para livro de pedidos baseado em heap  
Fonte: Chow (2017)

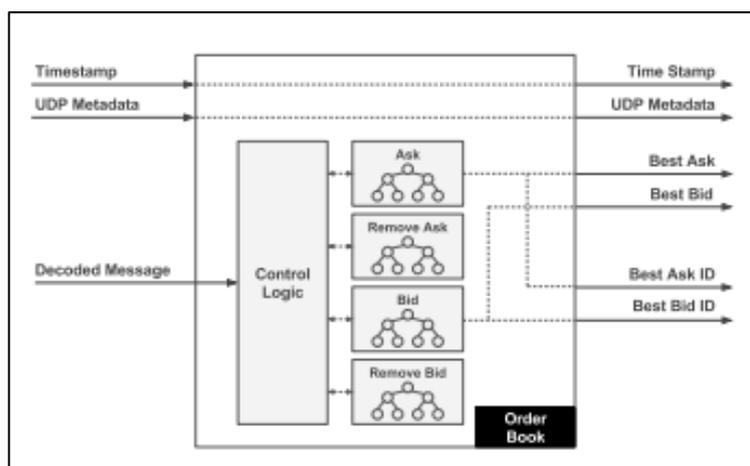
<sup>54</sup> **Bid and Ask:** a oferta de compra (bid) é o preço que um comprador está disposto a pagar por um ativo. A oferta de venda (ask) é o preço que um vendedor quer receber para entregar esse ativo. Quando se faz uma oferta de compra ou venda, também se inclui a quantidade de papéis envolvidos. Uma ordem é executada quando o número definido de papéis foi alcançado ao preço solicitado.

Com relação a rotina de inserção, ela dependerá principalmente de duas observações (CHOW, 2017):

- **em primeiro lugar**, se representar a estrutura de *heap* como uma matriz de valores armazenados no bloc *on-chip* RAMs<sup>55</sup> (também chamado de BRAMs, chip localizado dentro dos FPGAs utilizados para armazenar grandes quantidades de dados), para qualquer nó no índice  $j$ , na esquerda e direita os nós filhos índice  $2j$  e  $2j+1$ , respectivamente.
- **em segundo lugar**, para qualquer nó índice  $j$  e nível  $i$ , o caminho da raiz do *heap* para este nó pode ser representado como o menos significativo  $i$  – bits do valor  $j - 2^i$  com 0 indicando esquerda e 1 indicando direita.

Ao contrário dos *heaps* convencionais o manuseio do *book* de ofertas (comprar, vender, observar as ordens de compra e venda na fila) requer mais recursos além da simples inserção e exclusão (CHOW, 2017).

Para isso, deve-se excluir arbitrariamente, modificar o topo e fazer a exclusão de múltiplos nós, como demonstrada na Figura 6.



**Figura 6** – Diagrama de blocos do manuseio do livro de ofertas  
Fonte: Chow (2017)

Como demonstrado na Figura 6, o *book* de ofertas recebe um fluxo de entrada de pedidos decodificados recebidos junto com seus registros de data e hora. Isso produz o lance máximo atual (maior valor) e as ordens de pedido, e quando estiver pronto, as ordens vão para os algoritmos customizados de *trading*, que também envia

<sup>55</sup> **Bloco *on-chip* RAMs (BRAMs)**: um Bloco de RAM (às vezes chamado de memória embutida, ou *Embedded Block RAM* (EBR)), é uma parte discreta de um FPGA, o que significa que há apenas alguns deles disponíveis no chip. Eles são usados para armazenar grandes quantidades de dados dentro do FPGA.

o lance mais alto e pede ID de pedido a um núcleo *MicroBlaze*<sup>56</sup> instanciado na malha programável para monitoramento e depuração do sistema por meio de duas portas *AXI-Lite*<sup>57</sup> (CHOW, 2017).

- **exclusão arbitrária:** é a capacidade de excluir qualquer nó arbitrário da pilha e para isto ocorrer é necessário um pedido para expirar ou retirar-se do mercado, independentemente da posição no *book* de ofertas.

Assim, deve-se verificar o *heap* para encontrar e excluir um nó específico em uma operação  $O(N)$ , onde  $N$  é o tamanho do *heap*, que praticamente não é acessível em baixa latência, como é em aplicações HFT (CHOW, 2017).

Outra solução é ter um *hash-map*<sup>58</sup> que vincula o ID do pedido à sua posição atual do *heap*. No entanto, isso seria um uso ineficiente de memória *on-chip*<sup>59</sup> e requer atualizações cada vez que o pedido muda de posição dentro do *book* de ofertas (CHOW, 2017).

Em vez disso, Chow (2017) implementou a exclusão arbitrária armazenando todos os pedidos de exclusão arbitrários recebidos em uma estrutura separada da *heap*, que rastreia o pedido a ser excluído com prioridade mais alta e cada vez que o topo da pilha original é alterado e se o mesmo corresponder ao pedido principal a ser excluído, eles são removidos.

- **modificação do topo:** se uma ordem de mercado de tamanho  $S$  for recebida, ela significa que as melhores unidades  $S$  devem ser removidas do livro de pedidos.

No entanto, se  $S$  for menor que o tamanho do melhor atual *bid/ask* ( $S$  melhor), requer não remover o melhor pedido *bid/ask*, mas modificar seu tamanho para  $S$  melhor –  $S$ , que é implementando adicionando a lógica extra para verificar o tamanho da ordem de mercado recebida em comparação a ordem que está no topo (CHOW, 2017).

---

<sup>56</sup> **MicroBlaze:** é um núcleo de microprocessador soft projetado para matrizes de portas programáveis em campo Xilinx (FPGA). Como um processador soft-core, o MicroBlaze é implementado inteiramente na memória de uso geral e na estrutura lógica dos FPGAs Xilinx.

<sup>57</sup> **AXI-Lite:** é uma interface IP responsável por fornecer uma interface bidirecional ponto a ponto entre um núcleo de IP do usuário e o núcleo de interconexão.

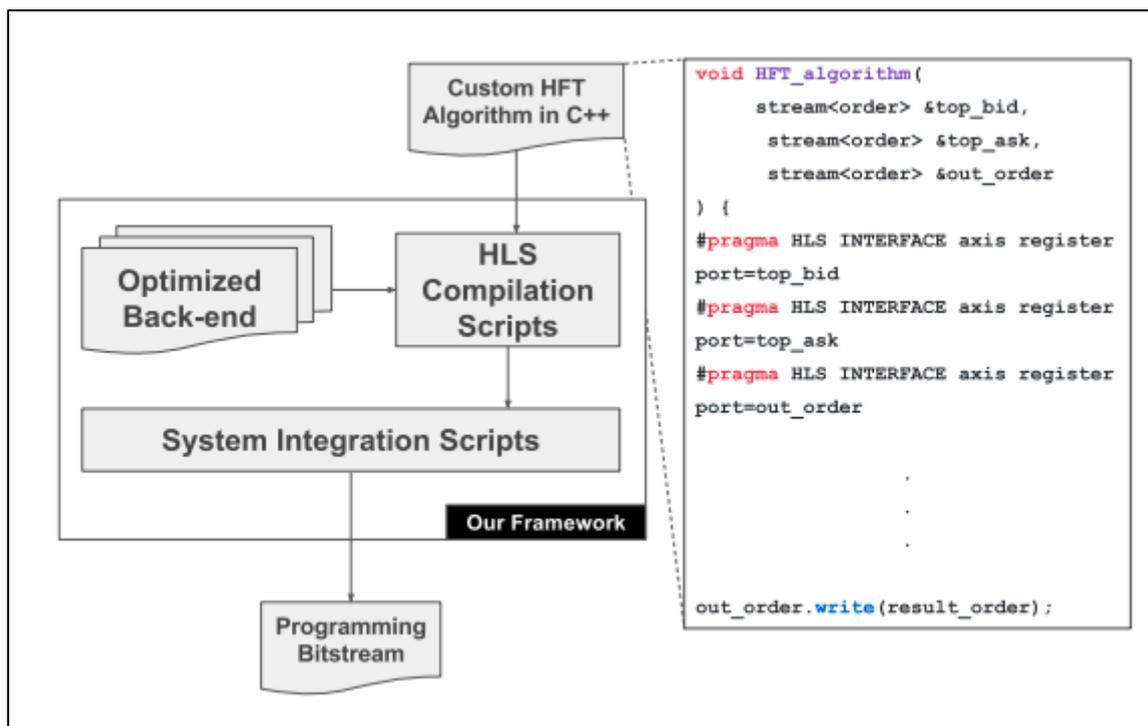
<sup>58</sup> **Hash-map:** é uma estrutura de dados especial, que associa chaves de pesquisa a valores. Seu objetivo é, a partir de uma chave simples, fazer uma busca rápida e obter o valor desejado.

<sup>59</sup> **Memória on-chip:** são compostas de blocos de memória já existentes dentro do FPGA, oferece acesso praticamente instantâneo (em geral o dado é disponibilizado após um ciclo de clock).

- **exclusão de múltiplos nós:** esse recurso é necessário se o tamanho da ordem de mercado  $S$  é maior que o tamanho da melhor oferta do *bid/ask*  $S$  melhor. Isso significa que a ordem no topo levará a remoção de mais de um pedido do *book* de ofertas, que deve ocorrer iterativamente subtraindo o tamanho do melhor pedido excluído do tamanho da ordem de mercado até chegar a zero.

O *book* de ofertas também é testado para oferecer suporte a esses recursos com quaisquer combinações, e podem resultar em um complexo cenário de pedidos recebidos.

A Figura 7 ilustra o fluxo de negociação do sistema que foi implementado por meio do desenvolvimento de um conjunto de *scripts* que automatiza a compilação HLS dos núcleos IP no *back-end*<sup>60</sup> para a rede, análise financeira de protocolo e manuseio do *book* de ofertas junto com o algoritmo HFT personalizado que foi fornecido.



**Figura 7** – Fluxo de integração do sistema  
Fonte: Chow (2017)

<sup>60</sup> **Back-end:** é uma forma de desenvolvimento se relaciona com o que está por trás das aplicações desenvolvidas na programação. Ou seja, tudo que dá estrutura e apoio às ações do usuário da máquina é chamado de *back-end*.

A integração com algoritmos HFT personalizados é automatizada para instanciar todos os núcleos IP e operar com as interfaces entre eles, para produzir um fluxo de *bits* de programação que é usado para implementar o sistema no FPGA de destino (CHOW, 2017).

E, após a completa integração dos algoritmos implementados, usando HLS *High Level Synthesis* (HLS) ou a síntese de alto nível, com conexões e interfaces de *streaming*, Loveless (2013), cita que os IPs de *back-end* fornecidos junto com o fluxo de integração do sistema permite que os desenvolvedores de algoritmos HFT possam desenvolver seus próprios algoritmos, desde algoritmos HFT *online*, considerados os mais simples, até algoritmos mais complicados, como o *Financial Monte-Carlo*<sup>61</sup>, mas sempre usando C++, como mostrado na Figura 5.

Então, com o mínimo de esforço e experiência com *design de hardware*, eles podem otimizar o código com paradigmas HLS para que obtenha um sistema HFT de ponta a ponta em FPGA (CHOW, 2017).

#### 4.5 Resultados experimentais

Com base no levantamento de dados, verificou-se que todos os blocos do sistema foram implementados no Vivado HLS 2016.3 e integrado ao Vivado<sup>62</sup> 2016.3.

O FPGA usado no experimento de Chow (2017) foi um Xilinx Kintex Ultrasacle XCKU115-2-FLVA1517E na placa Alpha Data 8K5, que possui um sistema que funciona na frequência de 156,2 MHz para corresponder à taxa de *bits* Ethernet 10G (Pacote de 64 bits por ciclo) e evita o cruzamento do domínio do *clock*<sup>63</sup>, como pode ser observado na Tabela 7.

---

<sup>61</sup> **Algoritmo Financial Monte-Carlo:** é usado para simular as várias fontes de incerteza que afetam o valor do instrumento, carteira ou investimento em questão, e então calcular um valor representativo.

<sup>62</sup> **Vivado:** Conjunto de software produzido pela Xilinx para síntese e análise de projetos de linguagem de descrição de Hardware.

<sup>63</sup> **Cruzamento de domínio de clock:** No projeto eletrônico digital, um cruzamento de domínio de clock, ou simplesmente cruzamento de clock, é o cruzamento de um sinal em um circuito digital síncrono de um domínio de clock para outro.

**Tabela 7** – Relatório de utilização de recursos FPGA financeiro

Resource	Used	Available	Utilization %
LUT	49,638	663,360	7.48
LUTRAM	2,148	29,3760	0.73
FF	32,718	1,326,720	2.47
BRAM	474	2,160	21.92
DSP	0	5,520	0

Fonte: Chow (2017)

A utilização dos diferentes recursos é apresentada na Tabela 7, no qual demonstra que o sistema usa menos de 8% dos blocos lógicos e não blocos DSP<sup>64</sup> que deixam a maioria dos recursos FPGA disponível para a implementação de algoritmos HFT complexos.

A utilização da BRAM é de cerca de 22%, principalmente devido ao particionamento extensivo do armazenamento do *book* de ofertas para garantir alta taxa de transferência. Algumas dessas partições são apenas alguns registros em tamanho, mas deve ser mapeado para um BRAM inteiro no FPGA.

Este problema foi agravado pela flexibilidade limitada na diretiva de particionamento de memória HLS, assim, o fato de relaxar as restrições de taxa de transferência permitiu esquemas de particionamento mais compactos que usam menos BRAM.

Isso vem demonstrar que, na prática, o rendimento mais baixo é aceitável, no entanto, o *design* demonstra que não há limite de desempenho rígido com abordagem usada.

Para trabalhos futuros sugere-se o descarregando de dados de entradas da Tabela 7 de menos prioridades para fora do *chip Dynamic Random-Access Memory*<sup>65</sup> (DRAM), semelhante ao usado por Fu; *et al.* (2017), que também reduziu a utilização do BRAM.

A Tabela 8 apresenta os resultados de tempo.

<sup>64</sup> **Bloco DSP:** são microprocessadores especializados em processamento digital de sinal usados para processar sinais de áudio, vídeo etc., tanto em tempo real, quanto em off-line.

<sup>65</sup> **DRAM:** *Dynamic Random-Access Memory*, em português memória dinâmica de acesso aleatório, é um tipo de memória semicondutora de acesso aleatório que armazena cada bit de dados em uma célula de memória que consiste em um pequeno capacitor e um transistor, ambos tipicamente baseados na tecnologia metal-óxido-semicondutor.

**Tabela 8** – Resultados de tempo FPGA

System	Frequency	Round-trip Cycles	Latency
HFT Subsystem	156 MHz	42 cycles	269ns
HFT and Network	156 MHz	136 cycles	869ns

Fonte: Chow (2017)

Para testar a latência de ida e volta do sistema, foi desenvolvido um *script* Python que é executado na CPU *host* que envia 10.000 pedidos de diferentes tipos ao FPGA pela rede e, posteriormente, recebe os pacotes de respostas do sistema (FU; *et al.*, 2017).

Os carimbos de data/hora embutidos em pacotes de saída pelo módulo de *switch* de rede foram agregados e calculados a média para determinar o número de ciclos (FU; *et al.*, 2017).

E com base na camada de rede, o carimbo de data/hora é efetivamente o delta de uma ordem de disparo de negociação sendo recebida, até a resposta correspondente atinge a pilha da rede (FU; *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a Tabela 8 demonstra que foi alcançada uma latência média de ida e volta de 42 ciclos (269ns) com contagens de ciclo de melhor e pior caso, de 36 e 62 respectivamente (FU; *et al.*, 2017).

Essa variabilidade na latência de ida e volta se deve a diferentes cenários de inserção e remoção que podem ocorrer no *book* de ofertas e no caso de adicionar a necessidade de latência de pior caso para transmissão e recepção através do Xilinx UDP e Camadas Ethernet (2 X 300ns) conforme relatado por Chow (2017) produzirá uma latência total de ida e volta do sistema de 869ns.

Para obter mais informações sobre os resultados de tempo, realiza-se uma quebra de latência entre os diferentes módulos do sistema implementando variações do sistema original para fazer o *loopback*<sup>66</sup> dos pacotes recebidos após analisar camadas de rede e o protocolo financeiro.

A Tabela 9 apresenta o número de ciclos consumidos por cada módulo, bem como a latência cumulativa que adiciona até a latência total.

<sup>66</sup> **Loopback:** refere-se ao roteamento de sinais eletrônicos, fluxos de dados digitais ou fluxos de itens que retornam para suas origens sem processamento ou modificação intencional. Ele é primariamente um meio de testar a infraestrutura de transmissão ou transporte.

**Tabela 9** – Quebra de latência (*latency breakdown*)

Module	Latency (Cycles)	Latency (ns)
Network Receive	47	300
Network Transmit	47	300
Network Switch	12	77
FAST Encoder & Decoder	18	115
Order Book & App	12	77
<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>869</b>

Fonte: Chow (2017)

A latência entre o *book* de ofertas e o *switch* de rede parece maior do que o esperado devido à sobrecarga da interconexão AXI4 - *Stream* usada para interface com todos os módulos (CHOW, 2017).

Na Tabela 10, foi comparada a latência de diferentes módulos do sistema com um trabalho anterior. Embora trabalhos anteriores não sejam implementados no mesmo FPGA alvo, todos operam na mesma frequência de 156 MHz para corresponder a Ethernet 10G *bit-rate*.

**Tabela 10** - Comparação de latência de trabalhos prévios

System	Platform	Freq. (MHz)	Latency ( $\mu$ s)		
			Network Stack	Financial Parsing	Order Book
[6]	Virtex-4 FX100	125	2	0.6	–
[3]	Virtex-5 TX240T	156	0.8	0.2	–
[7]	Kintex-7 325T	156	0.8	0.5 - 1.3	–
Ours	Kintex-U 1517E	156	0.6	0.12	0.08

Fonte: Chow (2017)

A comparação apresentada na Tabela 10 feito por Chow (2017), oferece uma fácil implantação do sistema e integração para desenvolvedores de algoritmos HFT, além de alcançar uma latência de ida de volta que está perto de *Register Transfer Level* (RTL) anteriores.

Leber, Geib e Litz (2011) em sua pesquisa fez a operação em uma frequência inferior de 125 MHz que, se dimensionado para frequência de 125 MHz, atinge latência

de  $1,6\mu$  e  $0,48\mu s$  para a pilha de rede<sup>67</sup> e o protocolo de análise financeiro, respectivamente.

A análise da camada de protocolo financeiro na pesquisa de Chow (2017) atingiu a latência de 1,6 a 10 vezes menor, devido a implementação de apenas uma parte do protocolo em vez de um codificador/decodificador genérico que opera com todas as variações do protocolo.

No geral, esse protocolo é utilizado sempre que uma variação de protocolo diferente é usada, o código-fonte HLS C++ do codificador/decodificador pode ser modificado para adicionar esta nova mudança ou remover quaisquer componentes não mais necessários (CHOW, 2017).

Apesar de Lockwood (2012) implementar o tratamento do *book* de ofertas, preferiu não incluir sua latência nos resultados publicados, então Chow (2017) não conseguiu comparar os resultados de latência.

---

<sup>67</sup> **Pilha de rede:** ou de pilha de protocolo é uma implementação de um conjunto de protocolos de rede de computadores ou família de protocolos. Alguns desses termos são usados alternadamente, mas, estritamente falando, o conjunto é a definição dos protocolos de comunicação e a pilha é a implementação de software deles.

## 5 ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS DE ALTA FREQUÊNCIA NA BOLSA DE VALORES

Para esta seção, a base será o objetivo do trabalho que busca demonstrar por meio de um estudo de caso realizado pelos autores desse trabalho, quais os gastos iniciais para operar um *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência nas operações do mercado futuro de dólar, e, baseado nos resultados de rentabilidade publicados por Maaz (2018), estimar o retorno médio esperado. O trabalho realizado por Chow (2017) demonstra a viabilidade de instalação do software em um FPGA, que será considerado nesse estudo de caso.

### 5.1 Mercado Futuro

O mercado futuro é o espaço onde são negociados/comercializados contratos com prazo certo de vencimento em uma data futura, uma espécie de derivativo<sup>68</sup>. Durante esse período os contratos sofrem oscilações, principalmente em razão da oferta e demanda, o que pode resultar em ganhos ou prejuízos para os investidores. Em suma, os contratos futuros retratam o compromisso de vender ou comprar alguma quantia de um determinado bem uma data adianta e por um já definido (INFOMONEY, 2021).

Existem algumas particularidades quando o assunto é mercado futuro, em relação a outros tipos de derivativos. Uma delas é o fato de que todos os negócios sucedem na bolsa de valores, outro aspecto é a homogeneidade do produto em questão, ou seja, todos os contratos necessitam seguir um certo padrão, para que todos os investidores possuam a certeza de que estão negociando precisamente a mesma coisa e nas mesmas condições (INFOMONEY, 2021).

Esse grau de padronização dos contratos futuros é o que possibilita que eles sejam negociados no pregão. Se cada investidor negociasse um tipo diferente, por exemplo; de moeda ou de ouro, as cotações seriam todas distintas entre si, inviabilizando as operações (INFOMONEY, 2021).

---

<sup>68</sup> **Derivativos:** como o próprio nome já indica, são um tipo de instrumento financeiro que possui o preço “derivado” do preço de um ativo, de um índice de mercado até de uma taxa de referência.

Atualmente, o mercado financeiro funciona de forma que, todas as condições de transferências dos ativos subjacentes entre vendedores e compradores são definidas anteriormente pela B3 e determinadas no contrato (INFOMONEY, 2021).

Sendo então uniformes, os contratos futuros abrangem um número maior de investidores e, dessa forma, dispõe de maior liquidez do que outros tipos de derivativos que não tem um padrão (INFOMONEY, 2021).

A liquidez que corresponde à facilidade e velocidade com as quais um ativo pode ser convertido em dinheiro novamente, torna-se de suma importância porque possibilita que um investidor encontre contrapartes para se desfazer da sua operação, caso seja necessário, antes do vencimento do contrato (INFOMONEY, 2021).

## 5.2 Dólar Futuro

O dólar futuro é uma *commodity* que são bens de consumo mundial e, por isso, são comercializadas em todo o mundo em bolsas de valores. Isto é, o dólar futuro funciona de forma diferenciada de aquisição da moeda norte-americana (dólar) em uma casa de câmbio. O mercado financeiro subentende o dólar futuro não como uma moeda física, mas como algo que pode futuramente valorizar ou desvalorizar (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Assim, as transações que envolvem esse tipo de dólar não supõem apenas a cotação do dólar no dia, pois trata-se de contratos de compra ou venda na data presente, o valor do dólar em uma data futura. Além do mais, ele não é convertido em espécie ou negociado, pois nessas operações, as pessoas que investem negociam contratos (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Os contratos de dólar futuro são ativos negociados na bolsa de valores, em um ambiente que é o mercado futuro, no qual um comprador pode obter um contrato no dia e negociá-lo futuramente, de acordo com o vencimento determinado no ato da compra (EINVESTIDOR ESTADÃO, 2021).

O objetivo dos contratos de dólar futuro é vislumbrar com as oscilações da moeda e assim, um rendimento com as operações. Os contratos de dólar futuro são expostos pela B3, a bolsa de valores oficial do Brasil, sediada na cidade de São Paulo, com vencimento em todos os meses do ano e em diversos prazos (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Esses contratos são segmentados em duas distintas categorias: minicontratos de dólar (WDO) e contratos com dólar (DOL). O primeiro é mais indicado quando se movimenta montantes menores e o segundo, por sua vez, é voltado a quem deseja movimentar grandes quantias de dinheiro (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Em um contrato do tipo cheio condiz a movimentações de US\$50 mil que no geral, tem como lote mínimo negociado, o número de cinco contratos, o que equivale, a US\$250 mil. Já os minicontratos representam 20% do contrato cheio. Dessa maneira, cada minicontrato equivale a US\$10 mil e não possui um mínimo necessário para operá-lo (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Apesar das altas quantias, um comprador não necessariamente precisa ter todo o valor negociado em conta, uma vez que para negociar contratos de dólar futuro, pode-se usar a alavancagem, que proporciona investimentos em contratos de preços mais elevados dando apenas uma parte do valor, mais conhecido como margem de garantia, que pode ser composta por títulos de renda fixa, dinheiro ou ações (TORO INVESTIMENTOS, 2021).

Como todo ativo do mercado futuro, a negociação ocorre por contratos que possuem vencimento definido. No caso do dólar futuro, o vencimento sempre ocorre no primeiro dia útil do mês (CHAGAS, 2020).

### 5.3 Dimensionando o investidor que opera dólar futuro

No universo de investimentos na bolsa de valores, seja brasileira ou de qualquer país do mundo, há uma distância considerável entre quem é iniciante e quem é experiente e opera altos volumes diariamente no mercado financeiro, dada a exigência de conhecimento mínimo para atuação nesse mercado, tais como (MACHADO, 2019):

- os conceitos e jargões<sup>69</sup> da bolsa de valores;
- as leis que regem no universo de investimentos;
- a teoria e aplicação de mais de um método de análise de mercado (técnica e a fundamentalista);
- o conhecimento das ações, derivativos, índices, moedas, títulos, opções ou commodities que opera;

---

<sup>69</sup> **Jargão:** é uma terminologia técnica ou socioleto comum a uma atividade ou grupo específico, comumente usada em grupos profissionais ou socioculturais.

- os cálculos da rentabilidade a curto e a longo prazos de determinados investimentos;
- os manejos de risco de capital; e
- outros conhecimentos particulares que cada investidor possui.

Quando se trata de utilizar um algoritmo de alta frequência para investir, o investidor precisa ter em mente que é tipo de investimento voltado apenas para os que possuem mais experiência de mercado, visto que, o volume operado é extremamente grande.

Segundo Chagas (2020) é crucial entender o conceito de alavancagem quando se trata de operações no mercado de dólar futuro. Isso acontece porque é uma negociação de US\$ 250 mil. Porém, não é necessário ter esse valor em conta, mas uma fração disso, que é definido pela corretora.

A variação mínima do dólar futuro ocorre de 0,5 em 0,5 ponto ou 1 em 1 *tick* (mesma variação, mas com nomes diferentes), que equivale a R\$ 125,00 operando o lote mínimo de cinco contratos quando se trata do dólar futuro padrão e R\$ 25,00, operando o lote mínimo de um contrato, quando se trata de minidólar.

- Um exemplo proposto pela Nelogica (2018) simula o seguinte a atuação de um investimento de dez contratos, sendo:
  - supondo que um trader tenha comprado dez contratos de dólar a R\$ 4.182,00 e tenha vendido esses dez contratos a R\$ 4.185,00. Nesse caso, ele ganhou três pontos de dólar (R\$ 4.185,00 – R\$ 4.182,00), o equivalente a seis ticks.
  - o valor do tick é de R\$ 125,00, são seis ticks de ganho, então, a princípio o ganho é de R\$ 750,00. Porém, foi negociado não o lote mínimo de cinco contratos, mas sim dez contratos.
  - nesse caso, o valor é dobrado, então o ganho é de R\$ 1.500,00
- No exemplo do minidólar a Nelogica (2018), supõe que um *day-trader* tenha vendido oito minicontratos de minidólar, sendo:
  - venda de R\$ 4.190,00 e comprado a R\$ R\$ 4.184,00.
  - o valor do *tick* é de R\$ 5,00.
  - o *trader* ganhou seis pontos, que é o equivalente a 12 ticks, logo, teoricamente seria o ganho de R\$ 60,00.

- no entanto, foram oito minicontratos negociados e nesse caso, o valor de R\$ 60,00 multiplicado por oito, o valor obtido pelo *trader* foi de R\$ 480,00 nessa operação.

No caso de investidores experientes que costumam comprar ou vender, mais de 300 contratos cheios de dólar por operação, atuando sobre o no mesmo cenário descrito acima, no qual o *trader* compra contratos a R\$ 4.182,00 e os vende a R\$ 4.185,00, se caso tivesse comprado os 300 contratos ao invés de dez, ele teria ganhado 30 vezes mais, obtendo um ganho total de R\$ 45.000,00, já desconsiderando as taxas e impostos).

Entretanto, nesse exemplo o *trader* obteve ganho porque ele comprou contratos de dólar e a moeda se valorizou, caso o valor do dólar futuro tivesse diminuído proporcionalmente, teriam sido perdidos R\$ 45.000,00.

E no caso de utilização de um algoritmo HFT, as operações são realizadas com uma maior quantidade de contratos, tendo como objetivo o um ganho alto em pouco tempo, o que significa que o investidor arriscará ainda mais dinheiro, já que estará comprando e vendendo muitos contratos de dólar (CHAGAS, 2020).

#### **5.4 Delimitação do estudo de caso**

Quando se trata do universo de negociações algorítmicas, existem possibilidades infinitas, por isso, para que o estudo de caso se torne mais pontual e objetivo, é necessário delimitar o caso.

Para esse trabalho, imagina-se um investidor experiente, com todas as características descritas anteriormente, tais como: habilidade de manejo de risco de capital, conhecimento das ações, derivativos, índices, moedas, títulos, opções ou commodities que opera e por fim, espera-se que conheça as funcionalidades de um HFT e os riscos que ele apresenta.

Supõe-se que esse investidor descobriu que, para desenvolver seu próprio algoritmo HFT, precisará contratar uma equipe de especialistas e comprar muitos dados para treinar e testar seu algoritmo, além de comprovar a funcionalidade do algoritmo por meio do *backtests*, um teste de estratégia, onde analisa o histórico de cotações de um ativo, a fim de prever o que pode acontecer no futuro.

O investidor e sua equipe, irá implementar um algoritmo que executa a estratégia passiva de *spread capture*, como explicado nos tópicos 2.2.3 e 2.2.3.1, no

qual descrevem que o algoritmo simula o papel de um formador de mercado tradicional, no entanto, sem as obrigações deste, e o ganho vem com a diferença de preço entre a oferta e a procura.

Esse algoritmo será implementado em uma placa FPGA Dell de 70W utilizando a linguagem C++, pois ela proporciona a solução de ligação ideal do servidor à rede. Este produto foi testado e validado em sistemas Dell. É abrangido pelo suporte técnico da Dell quando utilizado com um sistema Dell.

Esse investidor irá operar contratos de dólar futuro (minicontratos) dentro da bolsa de valores de São Paulo (B3) por meio da corretora Terra Investimentos que é credenciada ao programa HFT da B3. Nesse contexto, o investidor deve decidir apenas quando liga e desliga o algoritmo de alta frequência.

Ele terá também acesso ao seu saldo diário, podendo ver em tempo real, o quanto de dinheiro está ganhando ou perdendo naquele momento ou quando o pregão se encerrar. E, os resultados obtidos pelo investidor sejam eles, lucro ou prejuízo deverão ser debitados ou creditados na corretora no próximo dia útil.

## 5.5 O operador de HFT no estudo de caso

Primeiramente, é preciso obter um algoritmo HFT que demonstre resultados consistentes por meio de *backtests*, pois, se o algoritmo não for capaz de realizar estudos com base em dados do passado, não irá fornecer respostas em um mercado de tempo real.

Dessa forma, o investidor observou que como forma de incentivo, a B3 oferece um programa com custos diferenciados para *traders* HFT em contratos futuros, demandando sua aderência ao programa para se tornar um *trader*.

Os contratos de dólar, por exemplo, têm desconto de 70% em relação ao valor pago pelos demais agentes do mercado, ou seja, os investidores que operarem contratos de dólar futuro através de algoritmos HFT, irão pagar os valores de taxas e emolumentos reduzidos em 70% (B3, 2021).

Para obter os valores com desconto, é necessário que o investidor faça adesão junto a uma corretora participante do programa, uma vez que apenas as cadastradas como instituições PNP (Participante de Negociação Pleno) ou PL (Participante de Liquidação) e podem solicitar a inclusão de seus investidores no Programa HFT (B3, 2021).

Contudo, somente após a aprovação da requisição pela B3 é que o investidor passará a integrar o Programa HFT, sendo que, a comunicação da decisão será feita ao Participante pelo Serviço de Atendimento (PSA) da B3.

A B3 (2021) menciona que que:

O investidor interessado em se tornar um HFT cadastrado na B3 deve solicitar sua inclusão no Programa HFT ao Participante no qual suas operações são liquidadas e suas eventuais posições, carregadas. O Participante é o responsável por realizar o pedido em nome do investidor, por meio da abertura de chamado no Serviço de Atendimento da B3, encaminhando também o Termo de Adesão assinado (B3, 2017, p. 1).

Se investidor desejar manter seus negócios liquidados por meio de diferentes participantes deverá solicitar a cada um, o seu cadastramento como HFT na B3. Caso não o solicite, ele será tratado como um investidor comum.

O investidor deverá continuar a observar os requisitos e/ou os parâmetros estabelecidos pela B3 durante o período em que permanecer cadastrado no perfil HFT, como *Average Daily Volum (ADV)* ou volume médio diário negociado igual a 30.001 para dólar padrão, ou 150.005 para minicontratos, por exemplo.

Caso qualquer requisito ou parâmetro seja descumprido, a B3 poderá descadastrá-lo, o qual será notificado, por meio do Participante por ele responsável, a respeito de seu desligamento do Programa HFT, sendo assim, tarifado como investidor comum, a partir do dia útil seguinte à comunicação da decisão.

Para mensurar o volume de negociação de cada investidor, será considerada a quantidade média diária de contratos negociados em ADV, traduzido como 'volume médio de negociações diárias', isto é, uma média referente a quantidade de vezes que um determinado ativo foi negociado diariamente (B3, 2021).

No geral, o ADV possui muitas utilidades para os investidores entenderem, principalmente, qual é o nível de interesse em geral das pessoas em relação a uma determinada ação, uma vez que ela é quem definirá, a faixa de preço que o investidor pagará por contrato (B3, 2021).

Além disso, o investidor deverá escolher o critério de apuração do volume de negociação, no momento de sua solicitação de cadastramento ao Programa, que pode ser por meio de duas formas (B3, 2021):

- da apuração diária que é calculado ao final de cada dia com aplicação no mesmo dia; e
- da apuração periódica no qual, a tarifação é composta por duas etapas: medição e aplicação, com duração de dois meses cada.

O investidor necessitará também de um computador com capacidade de armazenamento para executar o algoritmo HFT. Não sendo recomendado por questões de segurança, a utilização dos serviços de nuvem.

Portanto, recomenda-se um servidor com uma CPU (*Central Process Unit*, ou Unidade Central de Processamento) de pelo menos 32-bits, ou um FPGA, para que possa processar paralelamente as informações.

Além disso, será necessário também colocar o servidor dentro do *Data Center* da B3, por meio de *Co-location*. A ideia é reduzir ao máximo, a latência da comunicação entre o servidor do investidor e a bolsa de valores.

Segundo a B3 (2021), as vantagens de realizar o *co-location* incluem:

- Garantia da menor latência do mercado para a plataforma *PUMA Trading Systems*<sup>70</sup>;
- Elevada segurança física;
- *Staging area*<sup>71</sup>;
- Serviço de *smart hands*<sup>72</sup>; entre outros.

Por fim, o investidor precisará de capital de giro de negociação e para calcular esse valor, considera-se os valores referentes a série histórica de lucro de investidores HFT apresentados no tópico 3.1.1 e ilustrado no Gráfico 5, no qual mostra que o prejuízo no valor de R\$ 12 milhões foi obtido entre os meses 10 e 11 de 2017 (MAAZ, 2018).

Considera-se neste estudo de caso, que o investidor possui R\$ 20 milhões para realizar as operações, restando ainda R\$ 8 milhões de margem de segurança para continuar as operações caso ele tenha o pior resultado visto em um mês.

## 5.6 *Co-location* na B3

---

<sup>70</sup> **Plataforma PUMA (Plataforma Unificada Multiativos):** é o sistema eletrônico de negociação de ativos financeiros utilizada pela B3 e desenvolvida em conjunto com o CME Group.

<sup>71</sup> **Staging Area:** é uma localização temporária onde os dados dos sistemas de origem são copiados. Desta forma, ao invés de acessar os dados diretamente da fonte, o processo de “transformação” do ETL pega os dados da *Staging Area* para tratar e entregar os dados.

<sup>72</sup> **Smart Hands:** é um serviço de suporte operacional ininterrupto e no local de gestão, instalação e solução remotas de problemas no seu equipamento de data center.

Os serviços de *Co-location* da B3 resumem-se na disponibilização de racks, espaços físicos e interconexões entre os equipamentos computacionais dos contratantes em um Data Center da B3 (B3, 2021).

Esses serviços possibilitam aos investidores contratantes, a hospedagem completa da infraestrutura tecnológica, podendo utilizá-la não só para acessar as plataformas eletrônicas da B3, mas também, os serviços e plataformas tecnológicas de outros contratantes, participando da estrutura de negociação dos mercados administrados pela Bolsa (B3, 2021).

Além do espaço físico no Data Center da B3, também é oferecido toda a infraestrutura tecnológica (como climatização, segurança e energia elétrica) para que os clientes/investidores possam acessar os sistemas da B3, de forma rápida e segura.

Os serviços de *Co-locatio* também permitem aos investidores contratantes, a hospedagem completa da infraestrutura tecnológica, podendo o usuário acessar não somente as plataformas da B3, mas também, as plataformas eletrônicas dos demais contratantes por meio de interconexões, diminuindo significativamente, o custo total dos contratantes (B3, 2021).

A hospedagem de sistemas contratantes e equipamentos no *Data Center* da B3 que está localizado em Santana de Parnaíba/SP, possibilita aos contratantes terem uma menor latência possível de infraestrutura de rede para negociação eletrônica.

Isso porque, a rede utilizada no serviço de *Co-location* B3 estar fisicamente posta na mesma infraestrutura dos componentes tecnológicos do *PUMA Trading System*, que são os responsáveis pelos derivativos dos contratantes para a plataformas de negociação e pelos serviços de roteamento de ordens de compra e venda de ativos (B3, 2021).

A B3 também oferece diferentes possibilidades de contratação de serviços de *Co-locatíon*, sendo a primeira delas, a que os clientes hospedam seus equipamentos em um espaço próprio, alugando espaço diretamente da B3.

Outra possibilidade é usar uma corretora como intermediária e nessa modalidade, é a corretora que pode oferecer seu espaço para os clientes, sendo essa, uma opção interessante para quem não tem tanta necessidade de espaço e que possui restrição de custos com infraestrutura (B3, 2021).

Em ambas as modalidades, o acesso a plataforma de negociação é feito por meio de uma conexão cruzada, não havendo necessidade de *links* dedicados para o acesso remoto dos dados, mas, a B3 oferece acesso remoto aos racks por meio de

*Virtual Private Network* (VPN), ou Rede Privada Virtual, uma rede de comunicações privada construída sobre uma rede de comunicações pública (B3, 2021).

Há também outras formas de contratação de serviços de *Co-location*, como a possibilidade de hospedagem de equipamento e sistemas por espaços ofertados por Provedores de Serviços Gerenciados (PSG) que estejam cadastrados junto a B3 (B3, 2021).

Esses provedores agem como facilitadores de serviços e oferecem pacotes customizados de operações, de acordo com as necessidades dos clientes. Os PSGs oferecem acesso aos serviços de negociação, pós-negociação e *Market Data*, uma loja online de dados (B3, 2021).

Existe também, a possibilidade de contratação de serviços adicionais, como: assistência técnica, energização de racks e monitorização, que são serviços específicos para o servidor colocado (B3, 2021).

## **5.7 Custos de um operador de HFT**

Para calcular, o possível lucro bruto do investidor adotado no estudo de caso, torna-se necessário calcular os gastos que terá para se tornar um operador HFT.

Os custos com o *software* é certamente, a parte mais cara da configuração, afinal é o responsável por toda operação, ou seja, ele obtém os dados das negociações, armazena-os e os manipulam, além de prepará-los para serem consumidos por suas estratégias. Essas estratégias farão cálculos diferentes, buscando dados anteriores para gerar sinais de compra/venda em uma fração de milissegundos (SILAHIAN, 2020).

Além disso, esse *software* deverá conter todos os módulos em funcionamento, tais como (SILAHIAN, 2020):

- agregadores de preços, para garantir que todas as fontes de preços sejam agregadas em um só lugar;
- sistemas de gerenciamento de pedidos;
- sistemas de gerenciamento de execução;
- roteamento de ordens inteligentes;
- sistemas de gerenciamento de risco; e

- qualquer interface que possa precisar, para o banco de dados, o armazenamento, o sistema de monitoramento, os relatórios, entre outros.

Como neste estudo de caso, o investidor escolheu contratar uma equipe especializada para o ajudar a desenvolver e testar o *software*, Silahian (2020) diz que o tempo médio para este processo é de um ano e os custos podem ultrapassar US\$ 500 mil/ano, sendo mensais de R\$ 2.550.000,00 convertendo o dólar para real no dia 10/10/2021, R\$ 5,10 equivalendo a US\$ 1,00.

Caso o investidor escolhesse alugar um *software* pronto, o valor médio do aluguel de um algoritmo HFT pode variar de provedor para provedor, mas, o valor médio corresponde a US\$ 15 mil mensais, e em reais, perfaz o valor de R\$ 82.650,00 ainda com base no valor de US\$ 1,00 equivalendo a R\$ 5,10 no dia 10/10/2021.

Entretanto, um *software* pronto é de difícil customização e geralmente obtém resultados muito abaixo dos produzidos por equipe própria, devido ao fato de serem construídos de maneira genérica e serem usados por diversos investidores (SILAHIAN, 2020).

Dessa forma, o custo dos recursos humanos para a contratação de profissionais custaria algo em torno de US\$ 150 mil ao ano, no limite inferior, o que corresponde a R\$ 765 mil.

E, segundo Silahian (2020), após desenvolver o *software*, a operação não será somente de uma pessoa, isto é, o investidor precisará de engenheiros de *software*, analistas quantitativos, suporte técnico para seus servidores e pesquisadores.

### 5.7.1 Custos dos dados numéricos

Neste estudo, optou-se pelo desenvolvimento do próprio algoritmo pelo investidor. De acordo com Silahian (2020) ele precisará adquirir os dados mais confiáveis e de nível de *tick*<sup>73</sup>, para os contratos de mini dólar e para o dólar padrão um *tick* é igual.

---

<sup>73</sup> **Tick:** é a mínima variação possível de um ativo, ou seja, quanto o preço se desloca em cada movimento mínimo de determinado ativo.

Esses dados serão utilizados para realizar rotinas operacionais de Risco, *Compliance*<sup>74</sup>, *Back Office*<sup>75</sup> e o *backtest* do algoritmo. A B3 fornece os dados históricos por meio do canal 'UP2DATA ON DEMAND'.

Os pacotes de dados são disponibilizados desde 2018 pela B3 e demanda que o investidor tenha (FONSECA, 2021):

- Cadastro de Instrumentos de Futuros de WDO<sup>76</sup> (R\$100,00 por ano);
- Informações de Negócios de WDO (R\$ 215,00 por ano);
- Preço de Ajuste de Futuros de WDO (R\$200,00 por ano); e
- Posições em Aberto de Futuros de WDO (R\$100,00 por ano).

Para calcular o valor total, multiplica-se o valor individual de cada produto por quatro, no qual refere-se aos anos de 2018, 2019, 2020 e 2021; e, soma-se os valores resultantes.

Com isso, o orçamento de dados históricos seria igual a R\$ 2.460,00, e a B3 fornece por meio do canal "UP2DATA" todos os dados de final de dia, tais como: preço de fechamento; preço de ajuste; preço de referência; cadastro de instrumentos; curvas; superfície de volatilidade; índices; entre outros.

Segundo a B3 (2020), o UP2DATA foi estruturado para facilitar o acesso às informações de fechamento e de referência pelo mercado, sendo as principais características e diferenciais do serviço são:

- **Automatização:** plataforma estruturada para facilitar a automatização dos processos e facilitar a usabilidade da informação no dia a dia.
- **Formato diversificado:** os arquivos poderão ser entregues em diversos formatos, como TXT, JSON, XML.
- **Organização:** canal único de comunicação para o recebimento dos dados.

---

<sup>74</sup> **Compliance:** é o conjunto de disciplinas a fim de cumprir e se fazer cumprir as normas legais e regulamentares, as políticas e as diretrizes estabelecidas para o negócio e para as atividades da instituição ou empresa, bem como evitar, detectar e tratar quaisquer desvios ou inconformidades que possam ocorrer.

<sup>75</sup> **Back Office:** está associado aos departamentos administrativos de uma empresa ou departamentos que mantêm nenhum ou muito pouco contato com os clientes.

<sup>76</sup> **WDO:** é um código de negociação de um ativo, que cada minicontrato da moeda é marcado pela sigla WDO, além de uma letra e de dois números. Eles significam, respectivamente, o mês e o ano de vencimento desse contrato.

- **Entrega antecipada:** informações de final de dia, entregues após o fechamento de cada mercado, sendo que a B3 dispensará seus melhores esforços para atendimento aos horários divulgados.
- **Entrega de final de dia:** entrega dos arquivos no último horário de divulgação.
- **Atendimento dedicado:** equipe especializada no produto para atender as dúvidas e as solicitações dos clientes relacionadas ao UP2DATA.
- **Notificações:** página exclusiva do serviço que contém os horários de divulgação e comunicações gerais sobre os status de envio dos arquivos.

De acordo com a B3 (2021), a Tabela 11 ilustra os preços que refletem o agrupamento por canais, sendo esses valores cobrados mensalmente, com base nos canais contratados pela cliente.

**Tabela 11** - Canais por tipo de mercado (valores para clientes nacionais-out./21)

<b>Canais por tipo de mercado (valores para clientes nacionais)</b>					
<b>Tipos de entrega</b>	<b>Renda Variável</b>	<b>Commodities</b>	<b>Juros</b>	<b>Moedas</b>	<b>Todos os mercados</b>
<b>Entrega de final de dia</b>	R\$ 2.500	R\$ 1.000	R\$ 2.000	R\$ 2.000	R\$ 5.950
<b>Entrega antecipada</b>	R\$ 4.000	R\$ 2.000	R\$ 3.500	R\$ 3.500	R\$ 9.800

Fonte: B3 (2021)

A Tabela 11 mostra os diferentes canais de dados que podem ser contratados pelos clientes de acordo com a necessidade de cada um.

O investidor deverá contratar o canal de moedas pois irá operar dólar futuro, com entrega antecipada, possibilitando análises antecipadas diante a diversos outros investidores. O valor total desses produtos é R\$ 3.500,00.

### 5.7.2 Custos do *hardware*

Para executar o algoritmo de alta frequência, o investidor decidiu utilizar um servidor com uma placa Intel FPGA de 70W, que possui um custo de R\$ 94.330,00 no site da empresa Dell.

Essa placa foi projetada para os servidores Dell EMC PowerEdge R640, R740 e R740xd, levando em consideração que, a operação mais requisitada de processamento ocorrerá dentro da placa FPGA, podendo também optar pelo servidor Dell EMC PowerEdge R640, que por ser o servidor mais básico da linha PowerEdge R, é uma opção mais barata.

Esse servidor conta com um processador Intel Xeon Silver 4208 2.1G, 8C/16T, 9.6GT/s, 11M Cache, Turbo, HT (85W) DDR4-2400, memória 16GB RDIMM, 3200MT/s, Dual Rank, BCC, e armazenamento SSD SATA de 2,5", 480 GB, 6 Gbit/s e 512n com unidade de conector automático e várias funções, 3 DWPD, 2628 TBW, seu custo para aquisição no site da empresa Dell é de R\$ 25.199,00.

Contudo, como descreve Silahian (2020) quando a operação se tornar lucrativa, é recomendado comprar servidores extras.

### 5.7.3 Custos do *Co-location* na B3

Como mencionado, o *Co-location* trata de uma modalidade de data center alugado, em que é possível obter um espaço para uma empresa de locação compartilhada.

O servidor do investidor deverá ser colocado dentro de um ambiente na B3, visando reduzir ao máximo a latência durante o funcionamento. Os valores referentes a *Co-Location* na B3 estão apresentados na Tabela 12:

**Tabela 12** - Valores referentes a unidades de hospedagem (out./21)

UNIDADES DE HOSPEDAGEM			
Serviço	Unidade	Ativação / Alteração <sup>(1)</sup>	Mensalidade
Rack Negociação	½ rack	R\$330,62	R\$7.714,45
Rack PSG Negociação	½ rack	R\$330,62	R\$7.714,45
Rack Web	¼ rack	R\$330,62	R\$3.857,22
Rack PSG Web	¼ rack	R\$330,62	R\$3.857,22
Rack GPS	¼ rack	R\$330,62	R\$3.857,22
Rack GPS	½ rack	R\$330,62	R\$7.714,45
Rack Estoque	½ rack	R\$330,62	R\$2.204,13
Rack Sala de Telecomunicações – Santana de Parnaíba	¼ rack	R\$330,62	R\$440,83
Rack Sala de Telecomunicações – XV de Novembro	¼ rack	R\$330,62	R\$440,83
Rack Concentrador de VPN	¼ rack	R\$330,62	R\$2.755,16

Fonte: B3 (2021)

A Tabela 12 mostra os valores referentes a unidades de hospedagem de servidores dentro do espaço de locação compartilhada, sendo dividido em serviço, unidade, ativação/alteração e mensalidade. Após escolher uma opção, o cliente deverá pagar uma vez, o valor referente a ativação e mensalmente, o valor da mensalidade (B3, 2021).

Na sequência tem-se na Tabela 13, com os valores para o VPN, a rede privada responsável pela tecnologia que estabelece a comunicação entre a máquina e a internet, mas, ao contrário das redes padrão, a VPN determina uma comunicação segura por meio da criptografia dos dados transmitidos.

**Tabela 13 – Valores para VPNs (out./21)**

VPNs			
Serviço	Unidade	Ativação / Alteração <sup>(1)</sup>	Mensalidade
Upgrade VPN até 1 Mbps	Por conexão	R\$165,30	R\$771,44
Upgrade VPN até 2 Mbps	Por conexão	R\$165,30	R\$991,86
VPN 256 kbps adicional	Por conexão	R\$165,30	R\$551,03
VPN 256 kbps para Provedor de Serviços Gerenciados	Por conexão	R\$165,30	R\$551,03

Fonte: B3 (2021)

A Tabela 13 demonstra os serviços de VPN oferecidos pela B3, possibilitando o servidor se conectar a rede interna da empresa. Ela é dividida em serviço, unidade, ativação/alteração e mensalidade, o cliente deverá pagar pela ativação do serviço uma vez e pagar mensalmente pela mensalidade (B3, 2021).

Já a Tabela 14 apresenta os valores para a prestação dos serviços especializados.

**Tabela 14 – Valores para serviços especializados (out./21)**

SERVIÇOS ESPECIALIZADOS			
Serviço	Unidade	Ativação / Alteração <sup>(1)</sup>	Mensalidade
Smart Hands	Homem/hora	R\$316,72	R\$ –
Locação de Equipamento para Teste de Conectividade	Por semana ou por dia	R\$ –	R\$1.123,43/semana R\$102,13/dia adicional
Locação de Espaço para Antena GPS	Por espaço	R\$3.166,03	R\$5.617,15
Projeto de Redes e/ou Implementação de Projetos de Redes	Por demanda	R\$ –	A definir
Transporte	Por demanda	R\$ –	A definir
Monitoramento por câmera	Por unidade	R\$ –	R\$275,51

(1) Pagamento único, no momento da solicitação de ativação ou alteração.

(2) Aplicado somente para contratantes PNP, Comitente, Provedores de Market Data e Roteamento de Ordens.

(3) Aplicado para Provedor de Serviços Gerenciados.

(4) Cross connection disponível apenas para Provedor de Conectividade.

(5) Cross connection disponível somente para contratantes que tiverem contratado o Rack Negociação.

Fonte: B3 (2021)

Já a Tabela 15 apresenta os valores referentes a serviços prestados pela B3 relacionados a negociação, sendo dividida em serviço, base de cobrança, adesão e mensalidade.

**Tabela 15 – Valores para negociação em outubro de 2021**

## NEGOCIAÇÃO



SERVIÇO	BASE DE COBRANÇA	ADESÃO	MENSALIDADE
PUMALINK NEGOCIAÇÃO COMITENTE COMITENTE CO-LOCATION – Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$112,41
PUMALINK DROP COPY COMITENTE CO-LOCATION – Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$330,62
PUMALINK DROP COPY INSTITUCIONAL – Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$1.653,10
PUMALINK DROP COPY INSTITUCIONAL – AUTORIZAÇÃO DE ACESSO	Por Cliente	R\$ 1.102,06	-
	Por Segmento		-
<b>PUMALINK MARKET DATA (1)</b>			
PUMALINK CONFLATED MBO ou MBP - Ações ou Derivativos (2)	Por PUMALink	-	R\$1.102,06
PUMALINK CONFLATED MBO ou MBP - Ações e Derivativos (2)	Por PUMALink	-	R\$2.204,13
PUMALINK REPLAYER MBO - Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$551,03
PUMALINK REPLAYER MBP/TOP - Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$551,03
PUMALINK HISTORICAL REPLAYER MBO - Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$1.102,06
PUMALINK HISTORICAL REPLAYER MBP/TOP - Ações ou Derivativos	Por PUMALink	-	R\$1.102,06

Fonte: B3 (2021)

Para a operação desse estudo, considerou necessário contratar os seguintes serviços:

- Rack negociação (R\$ 330,62 para ativação + R\$ 7.714,45 de mensalidade);

- VPN até 2Mbps (R\$ 165,30 para ativação + R\$ 991,86 de mensalidade);
- Pagamento de duas taxas referentes a negociação na plataforma PUMA, uma mensalidade de R\$112,41 referente a 'PUMALINK NEGOCIAÇÃO COMITENTE COMITENTE CO-LOCATION – Ações ou Derivativos'; e
- Pagamento de uma mensalidade de R\$ 330,62 referente a 'PUMALINK DROP COPY COMITENTE CO-LOCATION – Ações ou Derivativos', como descrita na Tabela 15.

Nesse caso, o valor total para *Co-location* na B3 será de R\$ 495,92 referente a ativação que se soma a R\$ 8.818,72 da mensalidade da locação do data center.

#### 5.7.4 Custos das taxas e emolumentos

Dada a impossibilidade de saber a quantidade exata de operações que um algoritmo de alta frequência faz por dia, adota-se neste estudo de caso, o valor médio referente a Tabela 16, considerando então, o *Average Daily Volum (ADV)* ou volume médio diário negociado igual a 30.001 para dólar padrão, ou 150.005 para minicontratos (ADV do dólar padrão multiplicado por cinco).

**Tabela 16 – Emolumentos e taxa de registro – componente fixo e variável -dólar futuro (out./21)**

ADV		Emolumentos (US\$)	Taxa de registro	
De	Até		Componente variável (US\$)	Componente fixo (US\$)*
1	2.800	0,398	0,652	0,0319502
2.801	5.000	0,076	0,124	0,0319502
5.001	10.000	0,053	0,087	0,0319502
10.001	20.000	0,042	0,068	0,0319502
20.001	30.000	0,038	0,062	0,0319502
30.001	50.000	0,037	0,060	0,0319502
50.001	75.000	0,036	0,058	0,0319502
75.001	100.000	0,035	0,057	0,0319502
100.001	150.000	0,034	0,056	0,0319502
Acima de 150.000		0,033	0,055	0,0319502

Fonte: B3 (ano)

- O minicontrato é isento do componente fixo e paga 20% do custo calculado para o emolumento e taxa de registro variável.
- Tributos que influem na formação das tarifas” artigo 1º, §2º, da Lei nº 12.741/12.

- As taxas descritas nesta página incluem o valor do Programas de Integração Social (PIS) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), cuja alíquota total é de 9,25%, e o valor do Imposto Sobre Serviços (ISS) cuja alíquota pode variar de 2% a 5%.
- Os emolumentos e taxas de negociação incluem o valor do PIS e da COFINS, cuja alíquota total é de 9,25%.

Segundo a B3 (2017) para realizar o cálculo do custo unitário específico para o dólar padrão, utiliza-se a seguinte formula:

$$\text{Custo Unitário} = \dot{p} \times \text{Dólar}$$

Onde:

- **Custo unitário:** valor calculado para os emolumentos ou taxa de registro variável para um contrato;
- **$\dot{p}$ :** custo apurado para os emolumentos ou taxa de registro variável, baseado no ADV e nas tabelas, de forma regressiva (incluindo o componente fixo);
- **Dólar:** taxa de câmbio (PTAX de venda) referente ao último dia do mês anterior à data de negociação do contrato.

Para o minicontrato, deve-se considerar 20% do valor do custo unitário sem incluir o componente fixo. Calculando os valores de taxa de registro variável e a taxa de emolumentos separadamente, tem-se para o custo unitário da taxa de registro a seguinte fórmula:

$$C_{tr} = T_r \times \text{Dólar} \times 20\%$$

Onde:

- **$C_{tr}$ :** valor calculado para a taxa de registro variável para um minicontrato.
- **$T_r$ :** custo apurado para a taxa de registro variável, baseado no ADV e nas tabelas, de forma regressiva.
- **Dólar:** taxa de câmbio (PTAX de venda) referente ao último dia do mês anterior à data de negociação do contrato.

E para o custo unitário da taxa de emolumentos tem-se a seguinte fórmula:

$$C_{te} = T_e \times \text{Dólar} \times 20\%$$

Onde:

- **C<sub>te</sub>**: valor calculado para a taxa de emolumentos para um minicontrato.
- **T<sub>e</sub>**: custo apurado para a taxa de emolumento baseado no ADV e nas tabelas.
- **Dólar**: taxa de câmbio (PTAX de venda) referente ao último dia do mês anterior à data de negociação do contrato.

Considerando a cotação do valor de venda de fechamento da PTAX do Dólar<sup>77</sup> dos Estados Unidos no dia 30/09/2021, onde o valor de R\$ 5,4394 equivale a US\$1,00, tem-se então, o valor do custo da taxa de emolumentos igual a R\$ 0,04025156 e o valor do custo unitário da taxa de registro igual R\$ 0,0652728. Dessa forma, calcula-se o custo médio mensal por meio da seguinte fórmula:

$$C_m = (C_{te} + C_{tr}) \times ADV$$

Onde:

- **C<sub>m</sub>**: o custo médio mensal referente a taxa de emolumentos e taxa de registro variável para um minicontrato.
- **ADV**: média de minicontrato.

Dessa forma, tem-se então, um valor total de R\$ 15.829,18 mensais, ou o valor anual de R\$ 189.950,17.

### 5.7.5 Investimento total

E, suma, os investimentos referem-se a:

- A equipe para desenvolver o software com custo de R\$ 2.550.000,00 referente ao salário da equipe de desenvolvimento e teste. Pagos apenas durante o primeiro ano.
- Os dados históricos da UP2DATA ON DEMAND correspondem a R\$ 2.460,00 que será pago de uma única vez.

<sup>77</sup> **PTAX**: é uma taxa que representa a taxa de câmbio. Ou seja, o preço de uma moeda estrangeira em relação a nossa moeda brasileira, o real. O dólar PTAX, no caso, expressa quanto vale o real brasileiro em relação ao dólar americano. O significado de Ptax teve origem no nome de uma antiga conta do sistema SISBACEN, a Ptax800. Até 2014, as instituições financeiras enviavam as cotações do dólar para o BACEN através dessa conta.

- A assinatura do UP2DATA - R\$ 3.500,00 mensais ou R\$ 42.000,00 por ano, e será pago continuamente.
- O FPGA<sup>78</sup> no valor de R\$ 94.330,00 pago de uma única vez.
- O Servidor com custo de R\$ 25.199,00 pago de uma única vez.
- O *co-location* no valor de R\$ 495,92 referente a ativação e que mensais correspondem a R\$ 8.818,72, totalizando R\$ 106.290,56 por ano.
- Os recursos humanos correspondem a R\$ 765.000,00 por ano, pagos continuamente.
- As taxas e emolumentos correspondem a R\$ 189.950,17 pagos continuamente após o primeiro ano.
- O capital investido no primeiro ano corresponde a R\$ 20.000.000,00.

Para obter o valor total do investimento do primeiro ano, acredita-se que a negociação de alta frequência ou HFT ainda não operará, por isso, desconsidera os valores referentes ao *co-location*; recursos humanos; capital de investimento; taxas e emolumentos.

O valor total do investimento considera-se o seguinte cálculo por meio da seguinte fórmula:

$$V_{t1} = E_d + D_{ht} + A_d + F + S$$

Onde:

- **V<sub>t1</sub>** : é o valor total do investimento realizado no primeiro ano;
- **E<sub>d</sub>** : é o valor a investir na equipe de desenvolvimento e teste;
- **D<sub>ht</sub>** : é o valor a investir nos dados históricos;
- **A<sub>d</sub>** : é o valor anual a investir na assinatura do UP2DATA;
- **F** : é o valor a investir no FPGA; e
- **S** : é o valor a investir no servidor.

Nesse contexto, o investimento total no primeiro ano corresponde a R\$ 2.713.989,00. E, tendo o *software* pronto para uso junto ao *hardware*, o HFT começará a operar.

---

<sup>78</sup> **FPGA**: Field-Programmable Gate Array ou ainda matriz de portas programáveis é um dispositivo lógico programável que suporta a implementação de circuitos digitais.

Calcula-se os gastos para o segundo ano com por meio da fórmula:

$$V_{t2} = R_h + C_o + A_d + T_e$$

Onde:

- $V_{t2}$  é o valor total do a investir nos anos subsequentes ao primeiro;
- $R_h$  é o valor a investir na equipe de recursos humanos;
- $C_o$  é o valor a investir no co-location;
- $A_d$  é o valor anual a investir na assinatura do UP2DATA; e
- $T_e$  é o valor pago anualmente nas taxas e emolumentos.

O investimento total anual, pago nos anos subsequentes ao primeiro, corresponde a R\$ 1.061.240,73. Por fim, considera-se o investimento de R\$ 20.000.000,00 referente ao capital de giro, pago em uma única vez, no início do segundo ano.

## 5.8 Estimativas de retornos financeiros

Ao descrever sobre os retornos financeiros em operações feitas em ativos de renda variável, não existe a possibilidade de ganhos em 100% das operações e nem prever os resultados pontuais.

Assim, ao investir nessa modalidade, o investidor deve manter uma mesma estratégia já testada que apresenta resultados assertivos acima de 60% por ano, pois, a porcentagem de acerto das operações é proveniente de um grande conjunto de dados, ou seja, um grande número de operações. E, ao realizar estudos sobre retornos obtidos, espera-se que o investidor tenha se mantido consistente com relação a estratégia escolhida.

O estudo realizado por Maaz (2018) revela um lucro bruto de aproximadamente R\$ 17.000,00 por dia, o lucro bruto médio mensal é calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{Lucro}_m = \text{Lucro}_d \times N_{du}$$

Onde:

- **Lucro<sub>m</sub>**: é o lucro bruto médio mensal;
- **N<sub>du</sub>**: é o número de dias úteis; e
- **Lucro<sub>a</sub>**: é o lucro bruto médio diário.

Ao levar em consideração que o pregão acontece somente nos dias úteis do mês, ou seja, em 21 dias, calcula-se um lucro bruto médio de R\$ 357.000,00 mensais. Já o lucro bruto médio anual, é calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Lucro}_a = \text{Lucro}_m \times N_m$$

Onde:

- **Lucro<sub>a</sub>**: é o lucro bruto médio anual; e
- **N<sub>m</sub>**: é o número de meses do ano.

Ao considerar que o investidor utilizou seu algoritmo nos 12 meses do ano, ele obteve um lucro bruto médio anual de R\$ 4.284.000,00. Entretanto, Maaz (2018) não especifica qual foi o capital investido, e como já mencionado anteriormente, essa estimativa ficou muito abaixo da estimativa de Serbera e Paumard (2014), que indicaram que os lucros realizados por investidores que utilizam as estratégias de HFT apresentaram lucros no ano de 2012, na ordem de R\$ 1,25 bilhão ante R\$ 5 bilhões em 2009. No mercado financeiro europeu, os retornos estão na média de 35% anuais como apresentados por Aldridge (2010).

E, como a B3 não disponibiliza dados referentes a correspondência entre as operações por meio das quais os operadores HFT abrem e encerram suas posições, Maaz (2018) criou uma suposição de que o grupo de investidores que utilizam estratégias de HFT correspondem a um único participante do mercado de contratos futuros, de modo que não são consideradas transações realizadas entre dois participantes HFT. Sabendo disso, imagina-se que os lucros são na realidade bem maiores.

Portanto, considerando o lucro anual médio bruto de R\$ 4.284.000,00 obtido por Maaz (2018) calcula-se o lucro líquido médio anual subtraindo as despesas anuais utilizando-se da equação abaixo:

$$\text{Lucro}_{lm} = \text{Lucro}_a - D_a$$

Onde:

- **Lucro<sub>lm</sub>**: lucro líquido médio anual após o primeiro ano (quando o HFT começar a operar);
- **Lucro<sub>a</sub>**: é o lucro bruto médio anual; e
- **D<sub>a</sub>**: é o valor total das despesas nos anos subsequentes ao primeiro.

Sendo assim, tem-se um lucro líquido médio anual de R\$ 3.222.759,27, porém, tendo em vista que os gastos do primeiro ano foram de R\$ 2.713.989,00, o lucro líquido obtido pelo investidor no primeiro ano de operação dá-se pela equação descrita abaixo:

$$\text{Lucro}_{11} = \text{Lucro}_{lm} - V_{t1}$$

Onde:

- **Lucro<sub>11</sub>**: é o lucro obtido pelo investidor no primeiro ano após o ano de desenvolvimento.

Dessa forma, observa-se que o investidor irá recuperar o investimento no primeiro ano de operação, e ainda sobriam R\$ 508.770,27.

Por fim, o cálculo do retorno no primeiro ano de operação sob o capital investido ocorre por meio da equação:

$$\text{Retorno}_1 = (\text{Lucro}_{11} \div C_i) \times 100$$

Onde:

- **Retorno<sub>1</sub>** : é a porcentagem de retorno sob o capital investido obtida no primeiro ano de operação; e
- **C<sub>i</sub>** : é o capital de giro investido.

O retorno, com o uso dessa fórmula será de 2,54% no primeiro ano sob o capital investido. Por último, calcula-se o retorno obtido dos anos subsequentes ao primeiro ano de operação através equação:

$$\text{Retorno}_x = (\text{Lucro}_{lm} \div C_i) \times 100$$

Onde:

- **Retorno<sub>x</sub>** : é a porcentagem de retorno sob o capital investido obtida nos anos subsequentes ao primeiro de operação.

Verifica-se que o investidor pode ter um retorno de 16,11% sob seu capital de R\$ 20 milhões nos anos seguintes ao funcionamento do algoritmo. Quanto ao retorno, o mesmo ficou acima da média da valorização do Ibovespa<sup>79</sup> nos últimos dez anos, que é de 7,71% e acima da inflação, cuja média foi de 7,4% (ELIAS, 2021).

## 5.9 Discussão dos resultados

Como observado no estudo, operar com uso de algoritmos de alta frequência comprando e vendendo minicontratos de dólar futuro pode ser um negócio lucrativo, mas, difícil de começar devido ao grande quantidade de capital necessária para iniciar e experiência de mercado requerida.

Alguns investidores podem tentar começar com pequenos investimentos e crescer à medida que os lucros vierem, mas Silahian (2020) diz que isso sempre falha, pois o investidor não terá todos os itens acima listados. Além disso, se o capital de giro for menor do que determinada sequência de perdas, o investidor irá a falência, pois não terá mais dinheiro para operar.

Após calcular um possível lucro líquido em um cenário fictício, mesmo usando os números fornecidos por Maaz (2018), estimou-se um valor abaixo do estipulado por outros autores, mesmo assim, houve retorno financeiro, maiores que alguns dos principais índices do mercado, como mencionado na sessão 5.8.

Devido à falta de literatura e dados disponibilizados de maneira gratuita, os cálculos foram realizados por meio de números médios disponibilizados por diversos autores, e na maioria das vezes autores estrangeiros. Além disso, por mais que a estratégia de captura de *spread* tenha sido citada no estudo de caso, não há como saber os resultados específicos para ela, tornando esse estudo completamente generalista.

E, mesmo o estudo realizado, mostrando-se pouco exato e tendencioso a erros, a pesquisa visando apresentar os conceitos e estratégias do HFT, a viabilidade de

---

<sup>79</sup> **Ibovespa**: Índice Bovespa é o mais importante indicador do desempenho médio das cotações das ações negociadas na B3 - Brasil, Bolsa, Balcão. É formado pelas ações com maior volume negociado nos últimos meses.

instalação em um FPGA e demonstrar um possível retorno de um caso fictício, acredita-se ter sido representativa.

Pôde-se observar que, com o trabalho publicado por Chow (2017), o desenvolvimento de um algoritmo de alta frequência em um FPGA é uma opção a um processador de arquitetura fixa, já que o algoritmo implementado por ele, usou menos de 8% dos blocos lógicos, sobrando muito espaço para desenvolvimento de algoritmos de alta frequência bem mais complexos. E, mesmo os resultados dos piores casos no quesito tempo e utilização de recursos, se mostraram aceitáveis para utilização em uma operação real.

Contudo, o estudo de caso realizado neste trabalho, demonstrou a existência do possível lucro líquido médio anual de R\$ 3.222.759,27, porém, tendo em vista que, os gastos do primeiro ano foram de R\$ 2.713.989,00, o investidor obteria um lucro final de R\$ 508.770,27 no primeiro ano. Posteriormente, o lucro líquido médio anual seria de R\$ 3.222.759,27, o que representaria um retorno de 16,11% sob seu capital de R\$ 20 milhões.

Ou seja, mesmo o investimento inicial ser alto, os lucros demorarem a aparecer, no geral, a utilização do HFT se mostra um negócio lucrativo e viável para grandes investidores, fundos de investimentos e bancos.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A negociação de ativos por meio do uso de algoritmos de alta frequência, os chamados *High Frequency Trading* (HFT), são realizadas como ferramentas tecnológicas sofisticadas e altamente otimizadas para realizar operações em um horizonte de investimento curtíssimo, na casa dos milésimos de segundos, nas quais os *traders* lucram centavos em cada operação no mercado financeiro.

Assim, o HFT se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos. Esse processo é repetido milhares de vezes ao longo o dia, os *high-frequency-trader* tendem a obter lucros consideráveis.

No Brasil, os algoritmos de alta frequência são muito utilizados na negociação da variação da taxa Cambial entre Reais (BRL) e Dólar dos Estados Unidos (USD) ao longo do dia, os chamados *day trade*.

O trabalho por meio de um estudo de caso realizado pelos autores dessa monografia, quais os gastos iniciais para operar um *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência nas operações do mercado futuro de dólar, e, baseado nos resultados de rentabilidade publicados por Maaz (2018), estimar o retorno médio esperado.

Com base nesse questionamento, verificou-se que um algoritmo HFT pode ser instalado com a utilização de uma placa FPGA, sendo ela uma opção viável para a instalação de um algoritmo HFT desenvolvido em C++ e customizado para a placa, uma vez que o dispositivo em si é programável, sendo possível elaborar rapidamente diferentes modelos de circuitos elétricos sem a necessidade de mandar para a fabricação.

Com relação ao funcionamento, os algoritmos de alta frequência funcionam aplicando diferentes estratégias, passivas ou direcionais e, independente da estratégia e das características; como grande quantidade de lotes, alta velocidade para realizar as operações em um curto período de tempo, marcam o funcionamento dos HFTs.

E por fim, os benefícios e possíveis rentabilidades, da utilização dos HFTs ficou demonstrado que, os investidores que utilizam esses algoritmos podem obter lucro por meio de oscilações de preço de ativos ao longo dia, chamadas de *day trade*. Já para

o mercado de capitais, o principal benefício da presença dos HFTs é o fornecimento de liquidez, já que diversas estratégias atuam como formadores de mercado, disponibilizando diversas ordens no book de ofertas.

Para contribuição ao objetivo geral, criou-se objetivos específicos, nos quais buscou-se primeiramente, entender a importância da utilização de novas ferramentas tecnológicas nas bolsas de valores.

Dada a evolução tecnológica, os mercados financeiros do mundo acompanham esse processo evolutivo viabilizando a atuação de pessoas físicas e jurídicas no sistema de negociação.

Essas novas ferramentas tecnológicas facilitam a participação de perfis de investidores nesse mercado, como os que almejam auferir rendimentos nos chamados *daytraders* de mercados, que são caracterizados por lucrar em questão de segundos, horas e até mesmo, com a oscilação de um dia de operação.

Na sequência, buscou-se caracterizar os HFT's e suas principais negociações. Os HFTs são negociações realizadas por plataformas automatizadas, na mesma sessão regular da bolsa de valores que todos os outros investidores operam, com negociações em grande quantidade, em alta velocidade e em curto período de tempo.

Um terceiro objetivo específico procurou compreender como a utilização dos HFT's podem beneficiar o mercado financeiro por melhorar a eficiência e aumentar a liquidez.

Observou-se com o estudo efetuado que um dos principais benefícios dos HFTs está no fato de desempenhar o papel de formadores de mercado formal ou informal, por meio do fornecimento da liquidez aos mercados que ocorre com o envio de ordens limitadas de compra e venda de limite eletrônico simultaneamente.

Por fim, buscou-se demonstrar a importância da escolha do *hardware* e sua influência direta no desempenho do algoritmo, isso porque, a arquitetura paralela e a natureza determinística do *hardware* são os responsáveis para reduzir as latências de ida e volta e, deste modo, aumentar os volumes de *trade*.

Nesse contexto, a opção deste trabalho foi o FPGA, pelo fato de conduzir rapidamente os dados da área de negociação e vice-versa, independentemente das circunstâncias da rede, uma vez que o *chip* sempre passa pela mesma série, dando a mesma saída para cada entrada fornecida.

E, como os acontecimentos de eventos aleatórios nas vias de processamento costumam ser bastante limitados, os componentes do FPGA apresentam uma latência de processamento repetível e previsível.

Além disso, o FPGA não possui uma arquitetura de processador fixa, contendo a sobrecarga do Sistema Operacional e todas as interfaces e interrupções padrões da CPUs, e por isso, tem seus caminhos de processamento paralelos, portanto, funções distintas que não necessitam competir pelos mesmos recursos operacionais.

E até nas anomalias de mercado, isto é, quando as redes estão sobrecarregadas de informações, o FPGA tem um número finito de estados operacionais que asseguram um menor risco de falhas funcionais e uma completa cobertura de teste. Com isso, os usuários dos sistemas acelerados por FPGA possuem uma grande confiabilidade na integridade da saída.

Tem-se então, o FPGA com capacidade de acelerar consideravelmente o cálculo de modelos matemáticos e a transmissão de dados para os motores de correspondência das bolsas de valores.

O objetivo geral do trabalho foi demonstrar por meio de um estudo de caso realizado por Maaz (2018), quais os gastos iniciais para operar um *High Frequency Trading* (HFT) ou Negociações de Alta Frequência nas operações do mercado futuro de dólar, por meio da análise das oscilações da variação da taxa Cambial entre Reais (BRL) e Dólar dos Estados Unidos da América (USD) ao longo do dia, as chamadas *day trade*, e qual o retorno médio esperado.

Diante desse objetivo proposto, observou-se que os gastos iniciais para operar com o HFT são superados com um lucro final já no primeiro ano, bem como, de um lucro líquido médio anual, dando um retorno sob o capital inicial que foi investido.

Considera-se, portanto, que, as negociações com HFT abre uma nova janela de oportunidades para novos modelos e estratégia de operações trazendo vantagens, dada a possibilidade de fazer uma análise rápida e conseguir negociar em alta frequência e com grandes volumes e, conseqüentemente, bons retornos financeiros ao investidor.

## REFERÊNCIAS

- ADLER, A. **High frequency regulation: a new model for market monitoring.** *In:* Vermont Law Review, v. 39, n. 1, 2014. Disponível em: <[http://lawreview.vermontlaw.edu/wp-content/uploads/2011/09/39-08\\_Adler.pdf](http://lawreview.vermontlaw.edu/wp-content/uploads/2011/09/39-08_Adler.pdf)>. Acesso em: 25/05/2020.
- AHLSTEDT, J.; VILLYSSON, Jn. **High frequency trading.** 2012. Disponível em: <[http://www.math.chalmers.se/~rootzen/finrisk/Gr5\\_Johan\\_Jonathan\\_HFT.pdf](http://www.math.chalmers.se/~rootzen/finrisk/Gr5_Johan_Jonathan_HFT.pdf)>. Acesso em: 20/06/2020.
- ARAÚJO, A. C.; MONTINI, A. **High frequency trading: análise de retorno, volume e volatilidade.** 2018. Disponível em: <[https://www.redalyc.org/jatsRepo/1940/194057961004/html/index.html#redalyc\\_194057961004\\_ref1](https://www.redalyc.org/jatsRepo/1940/194057961004/html/index.html#redalyc_194057961004_ref1)>. Acesso em: 04/03/2021.
- ALDRIDGE, I. **High-frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems.** New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- B3. **High frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems.** 2. ed. New Jersey: Wiley, 2013.
- ANDRADE, J.; GUILHERME, G. **Os robôs do mercado financeiro: entre oportunidades e riscos.** 2019. Disponível em: <<https://arte.estadao.com.br/focas/estadaoqr/materia/os-robos-do-mercado-financeiro-entre-oportunidades-e-riscos/>>. Acesso em: 25/03/2021.
- ANTUNES, A. **HFT (High Frequency Trading).** 2020. Disponível em: <<https://scalpertrader.com.br/hft/>>. Acesso em: 16/03/2020.
- ARMOUR, J.; *et al.* **Principles of financial regulation.** Oxford: Oxford University, 2016. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=81S1DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=ARMOUR,+J.%3B+et+al.+Principles+of+financial+regulation.+Oxford:+Oxford+University,+2016.&ots=CMj8hgapSk&sig=38FhssDCk1JV5hT8LaHJg3vqXA4#v=onepage&q=ARMOUR%2C%20J.%3B%20et%20al.%20Principles%20of%20financial%20regulation.%20Oxford%3A%20Oxford%20University%2C%202016.&f=false>>. Acesso em: 29/09/2020.
- B3. **Co-Location.** 2021. Disponível em: <[https://www.b3.com.br/pt\\_br/solucoes/hosting-colocation/data-center/data-center/co-location-em-spa.htm](https://www.b3.com.br/pt_br/solucoes/hosting-colocation/data-center/data-center/co-location-em-spa.htm)>. Acesso em: 15/11/2021.
- B3. **Market data e índices.** 2021. Disponível em: <[https://www.b3.com.br/pt\\_br/market-data-e-indices/](https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/)>. Acesso em: 15/11/2021.
- B3. **Tarifas de programa HFT.** 2017. Disponível em: <[https://www.b3.com.br/pt\\_br/produtos-e-servicos/tarifas/listados-a-vista-e](https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/tarifas/listados-a-vista-e)>

derivativos/programas-de-incentivo/tarifas-de-programa-hft/>. Acesso em: 15/11/2021.

**B3. Política comercial e co-location.** 2020. Disponível em: <[https://www.b3.com.br/data/files/87/53/2F/9E/012C1710EB0EEB17AC094EA8/Politica+Comercial+Colocation\\_Fev2020.pdf](https://www.b3.com.br/data/files/87/53/2F/9E/012C1710EB0EEB17AC094EA8/Politica+Comercial+Colocation_Fev2020.pdf)>. Acesso em: 15/11/2021.

**B3. Tabela de preços janeiro.** 2021. Disponível em: <<https://www.b3.com.br/data/files/74/C5/2E/08/350477108F39C077AC094EA8/Tabela%20de%20pre%C3%A7o%20Janeiro%202021%20PUBLICA.pdf>>. Acesso em: 15/11/2021.

**B3. Política comercial do UP2DATA.** 2021. Disponível em: <<https://www.b3.com.br/data/files/F5/91/68/FC/2F2656104E775456AC094EA8/20180821-Politica-Comercial-UP2DATA.pdf#page=10&zoom=100,109,689>>. Acesso em: 15/11/2021.

BARON, M; BROGAARD, J; KIRILENKO, A. **The trading profits of high frequency traders.** Kellogg School of Management Working Paper. Agosto, 2012. Disponível em: <<https://www.banqueducanada.ca/wp-content/uploads/2012/11/Brogaard-Jonathan.pdf>>. Acesso em: 17/05/2021.

BATES, J. **Post flash crash, regulators still use bicycles to catch ferraris:** blaming the flash crash on a UK man who lives with his parents is like blaming lightening for starting a fire. Traders Magazine Online News. 2015. Disponível em: <<http://www.tradersmagazine.com/news/technology/post-flash-crash-regulators-still-use-bicycles-to-catch-ferraris-113762-1.html?ET=tradersmagazine%3Ae4256762%3A1181926a%3A&st=email>>. Acesso em: 04/03/2021.

BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. **Fundamentos de investimentos.** 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

BROGAARD, J. A. **The activity of high frequency traders.** *In:* Review of Financial Studies. 2010. Disponível em: <<https://www.banqueducanada.ca/wp-content/uploads/2012/11/Brogaard-Jonathan.pdf>>. Acesso em: 29/09/2021.

**B3. High frequency trading and its impact on market quality.** 2010. Disponível em: <[https://secure.fia.org/ptg-downloads/hft\\_trading.pdf](https://secure.fia.org/ptg-downloads/hft_trading.pdf)>. Acesso em: 29/09/2021.

BROGAARD, J; HENDERSHOTT, T; RIORDAN, R. **High frequency trading and price discovery.** *In:* Review of Financial Studies. Aug. 2014. Disponível em: <<https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1602.pdf>>. Acesso em: 29/09/2021.

BRUSH, S.; SCHOENBERG, T.; RING, S. **How a mystery trader with an algorithm may have caused the flash crash.** *In:* Bloomberg News. 2015. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2015-04-22/mystery-trader-armed-with-algorithms-rewrites-flash-crash-story>>. Acesso em: 04/03/2021.

CARRION, B. M. **BM&FBOVESPA exhibe datacenter e manda recado para concorrentes**. *In*: Capital Aberto. 2014. Disponível em: <<https://capitalaberto.com.br/blogs/bmfbovespa-exibe-datacenter-e-manda-recado-para-concorrentes/>>. Acesso em: 25/06/2020.

CAVALCANTI, H. H. **Negociação de alta frequência**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/4927/1/HHCavalcanti.pdf>>. Acesso em: 22/04/2020.

CAIVANO, V. **The impact of high-frequency trading on volatility: evidence from the italian market**. 2015. *In*: CONSOB Working Papers n. 80. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2573677>>. Acesso em: 11/03/2021.

CARVER, R. **The best coding languages to learn for traders in banks, hedge funds and HFT firms**. 2020. Disponível em: <<https://www.efinancialcareers.co.uk/news/2018/09/the-best-coding-languages-to-learn-for-traders-in-banks-hedge-funds-and-hft-firms>>. Acesso em: 11/08/2021.

CHABOUD, A.; *et al.* **Rise of the machines: algorithmic trading in the foreign exchange market**. *In*: Journal of Finance, 69, 5, 2045-2084, Oct. 2014. ISSN: 00221082. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jofi.12186>>. Acesso em: 11/05/2020.

CHAGAS, L.; *et al.* **Dólar futuro, tudo o que você sempre quis saber e ninguém te contou**. 2020. Disponível em: <<https://blog.nelogica.com.br/dolar-futuro-tudo-o-que-voce-sempre-quis-saber-e-ninguem-te-contou/>>. Acesso em: 18/11/2021.

CHOW, P.; BOUTROS, A.; GRADY, B.; ABBAS, M., **Build fast, trade fast: FPGA-based high-frequency trading using high-level synthesys**. 2017. Disponível em: <Build fast, trade fast: FPGA-based high-frequency trading using high-level synthesis | IEEE Conference Publication|IEEE Xplore>. Acesso em: 19/07/2021.

CREATIVANTE. **HFT – high frequency trading (negociação em alta frequência)**. 2014. Disponível em: <<http://www.creativante.com/new/index.php/2013-02-03-19-36-05/2014/199-hft-high-frequency-trading-negociacao-em-alta-frequencia>>. Acesso em: 20/06/2020.

ELIAS, J. **Em uma década, bolsa perdeu para poupança e inflação e foi o pior investimento**. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/em-uma-decada-bolsa-perdeu-para-poupanca-e-inflacao-e-foi-o-pior-investimento/>>. Acesso em: 13/11/2021.

CVITANIC, J.; KIRILENKO, A. A. **Negociantes de alta frequência e preços de ativos**. 2010. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1569067](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1569067)>. Acesso em: 25/05/2020.

DELL. **Placa de Intel FPGA programmable acceleration 70W altura integral (instalação do cliente)**. Disponível em: <<https://www.dell.com/pt->

br/work/shop/placa-de-intel-fpga-programmable-acceleration-70w-altura-integral-instala%C3%A7%C3%A3o-do-cliente/apd/403-bbvz?gacd=9690632-15009-5761040-276815260-0&dgc=ST&cid=71700000069469182&gclid=CjwKCAjw8KmLBhB8EiwAQbqNoCsYEmK6U1GFBmCDk9eGTcKOB\_GQJzbOZKOVov4uaeQbttHIJbPvrhoC5GwQAvD\_BwE&gclid=aw.ds&nclid=KVf1b0RygnmvHNYx2gGQd6D4IAp3hHa-bv1KQoRhliYCulkL0xx8lCH96l26j33H#tabs\_section>. Acesso em: 15/11/2021.

DVORAK, M.; KORENEK, J. **Low latency book handling in FPGA for high frequency trading**. 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/322943748\\_Build\\_fast\\_trade\\_fast\\_FPGA-based\\_high-frequency\\_trading\\_using\\_high-level\\_synthesis](https://www.researchgate.net/publication/322943748_Build_fast_trade_fast_FPGA-based_high-frequency_trading_using_high-level_synthesis)>. Acesso em: 05/07/2020.

EVANS, H. Y. **In pursuit of ultra-low latency: FGPA in high-frequency trading**. 2021. Disponível em: <<https://www.velvetech.com/blog/fpga-in-high-frequency-trading/>>. Acesso em: 09/02/2021.

EINVESTIDOR, ESTADÃO. **O que é dólar futuro?** 2021. Disponível em: <<https://investidor.estadao.com.br/investimentos/o-que-e-dolar-futuro>>. Acesso em: 15/11/2021.

FERNANDES, T. A. **A utilização de robôs em negociações de alta frequência na obtenção de ganhos financeiros e suas consequências para o mercado**. 2015. Monografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44514/MONOGRAFIA58-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15/07/2020.

FILARDI, G. **Algo trading**. 2018. Disponível em: <[https://www.bussoladoinvestidor.com.br/abc\\_do\\_investidor/comercio-algoritmico/](https://www.bussoladoinvestidor.com.br/abc_do_investidor/comercio-algoritmico/)>. Acesso em: 25/06/2020.

FONSECA, R. **O que são e para que servem os ticks?** 2021. Disponível em: <<https://ajuda.nelogica.com.br/hc/pt-br/articles/4401991544987-O-que-s%C3%A3o-e-para-que-servem-os-Ticks->>. Acesso em 10/10/2021.

GOMBER, P.; *et al.* **High-frequency trading**. 2011. Disponível em: <<https://poseidon01.ssrn.com/delivery.php?ID=203111070087070000006109104099067075015044057006032032065030121076013066081006030028002059037127043063028105073096103115095030103023040033028127102095081127020094001023077088017114020003106118067009107024012097090021113101030077079030111011097097008&EXT=pdf>>. Acesso em: 24/06/2020.

HENDERSHOTT, T.; JONES, C. M.; MENKVELD, A. J. **Does algorithmic trading improve liquidity?** 2010. *In*: Journal of Finance. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1540-6261.2010.01624.x>>. Acesso em: 24/11/2021.

HENRIQUE, G. M. **High-frequency trading: os algoritmos e as operações de alta frequência nas bolsas de valores**. 2015. Monografia, Universidade Federal do

Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em:  
<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/45078/MONOGRAFIA13-2015-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18/07/2020.

INFOMONEY. **Mercado futuro**. 2020. Disponível em:  
<<https://www.infomoney.com.br/guias/mercado-futuro/>>. Acesso em: 14/11/2021.

ISMAR, B. **HFT: como funcionam as negociações de alta frequência?** 2021. Disponível em: <<https://renovainvest.com.br/blog/hft-como-funcionam-as-negociacoes-de-alta-frequencia/>>. Acesso em: 23/11/2021.

KIRILENKO, A.; *et al.* **The flash crash: the impact of high frequency trading on an electronic market**. 2014. Disponível em:  
<[https://www.cftc.gov/sites/default/files/idc/groups/public/@economicanalysis/documents/file/oce\\_flashcrash0314.pdf](https://www.cftc.gov/sites/default/files/idc/groups/public/@economicanalysis/documents/file/oce_flashcrash0314.pdf)>. Acesso em: 04/03/2021.

LAKONISHOK, J.; SHLEIFER, A.; VISHNY, R. W. **The impact of institutional trading on stock prices**. 1992. *In:* Journal of Financial Economics. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0304405X9290023Q>>. Acesso em: 12/04/2021.

LEBER, C. **High frequency trading acceleration using FPGAs**. 2011. *In:* IEEE International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL). Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/High-Frequency-Trading-Acceleration-Using-FPGAs-Leber-Geib/e0a5396d7aa9daadf2c25c2a1089f3c1d73d58a3>>. Acesso em: 11/08/2021.

LEWIS, M. **Flash boys: a Wall Street revolt**. *In:* New York: W. W. Norton & Company, 2014. Disponível em:  
<[https://books.google.com.br/books/about/Flash\\_Boys\\_A\\_Wall\\_Street\\_Revolt.html?id=UclkAwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Flash_Boys_A_Wall_Street_Revolt.html?id=UclkAwAAQBAJ&redir_esc=y)>. Acesso em: 11/08/2020.

LOCKWOOD, J. W. **A low-latency library in FPGA hardware for high-frequency trading**. 2012. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Low-Latency-Library-in-FPGA-Hardware-for-Trading-Lockwood-Gupte/54e790e76e8c4b393f5e28df2a3d9f72392c27fe>>. Acesso em: 11/08/2021.

LOVELESS, J., STOIKOV, S.; WAEBER, R. **Online algorithms in high-frequency trading**. 2013. *In:* Communications of the ACM, vol. 56, n. 10. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2507771.2507780>>. Acesso em: 04/03/2021.

MACHADO, A. **Profissão day trader**. 2019. São Paulo. Disponível em:  
<<https://www.modalmais.com.br/carreira-trader/profissao-daytrader>>. Acesso em: 18/11/2021.

MAAZ, F. R. **A atividade de negociações algorítmicas de alta frequência no mercado brasileiro de dólar futuro**. 2018. Dissertação. Programa de Mestrado Profissional em Economia e Finanças da Fundação Getulio Vargas/EESP. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/24594>>. Acesso em: 05/03/2021.

MARCO, A. **A gritaria acabou:** do pregão viva voz à negociação eletrônica. 2016. Disponível em: <<http://vemprabolsa.com.br/2016/03/18/gritaria-acabou-do-pregao-viva-voz-negociacao-eletronica/>>. Acesso em: 25/05/2020.

MARKETS, I. F. C. **Negociação algorítmica.** 2020. Disponível em: <[MAZZONI, C. \*\*High-frequency trading brings american whiz-kid to Brazil.\*\* 2012. \*In:\* Jornal O Valor. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/international/news/2878790/high-frequency-trading-brings-american-whiz-kid-brazil#ixzz2TV7WJPfO>>. Acesso em: 25/05/2020.](https://www.ifcmarkets.com.br/about-forex/algorithmic-trading#:~:text=A%20negocia%C3%A7%C3%A3o%20algor%C3%ADmica%20%C3%A9%20um,computador%20baseados%20em%20algoritmos%20matem%C3%A1tic os.></a>>. Acesso em: 25/05/2020.</p></div><div data-bbox=)

MONTINI, A. A.; ARAUJO, A. C. **High frequency trading:** preço, volume e volatilidade em uma nova microestrutura de mercado. 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/268192915\\_High\\_Frequency\\_Trading\\_Pr eco\\_Volume\\_e\\_Volatilidade\\_em\\_uma\\_Nova\\_Microestrutura\\_de\\_Mercado](https://www.researchgate.net/publication/268192915_High_Frequency_Trading_Pr eco_Volume_e_Volatilidade_em_uma_Nova_Microestrutura_de_Mercado)>. Acesso em: 12/06/2020.

PARANÁ, E. **A finança digitalizada: informatização a serviço da mundialização financeira.** 2018. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-63512018000100245&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-63512018000100245&script=sci_arttext)>. Acesso em: 12/06/2020.

PENTAGNA, A. P. **High frequency trading:** riscos e propostas de regulamentação. 2015. Monografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/42903/MONOGRAFIA05-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20/06/2020.

PHILLIPS, M **Nasdaq:** here's our timeline of the flash crash. 2010. *In:* Wall Street Journal. Disponível em: <<https://www.wsj.com/articles/BL-MB-21942>>. Acesso em: 04/03/2021.

PINHEIRO, M. P.; GOMES, C.F.S. **Evolução do mercado acionário:** Home broker – estudo HSBC. 2008. Disponível em: <[https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/285\\_artigohsbc.pdf](https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/285_artigohsbc.pdf)>. Acesso em: 30/03/2020.

PORTUGAL, M. **Investidor em alta frequência ganha seu espaço dentro da Bovespa.** 2010. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/investidor-altafrequencia-ganha-seu-espaço-dentro-bovespa-585958>>. Acesso em: 25/06/2020.

PRELADO, R. H. C. **High-frequency trading (HFT) como frente inovadora e ápice da evolução dos mercados de capitais:** estratégias, regulamentação e implicações de sua presença nos mercados de capitais. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/11837>>. Acesso em: 25/06/2020.

REIS, T. **HFT: como funcionam os algoritmos de negociação em alta frequência?** 2019. Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/hft-high-frequency-trading/>>. Acesso em: 25/06/2020.

REIS, T. **PUMA trading system: como funciona a plataforma PUMA da B3?** 2019. Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/plataforma-puma/>>. Acesso em: 20/06/2020.

ROVER, J. A.; PINTO, A. J. D.; RIBEIRO, A. V. C. **Direito, governança e novas tecnologias.** 2019. Disponível em: <<http://conpedi.danilol.info/publicacoes/n85g2cd/twsv4bw4/R9i13GJ6wZo7b69j.pdf>>. Acesso em: 03/06/2020.

SULAIMAN, N.; *et al.* **Design and implementation of FPGA-based systems: a review.** 2009. *In:* Australian Journal of Basic and Applied Sciences, v. 3, 10. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/268424617\\_Design\\_and\\_Implementation\\_of\\_FPGA-Based\\_Systems\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/268424617_Design_and_Implementation_of_FPGA-Based_Systems_-_A_Review)>. Acesso em: 21/06/2020.

SEC - SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. **Concept release on equity market structure.** 2010. *In:* Release n. 34-61358; File n. S7-02-10. Disponível em: <<http://www.sec.gov/rules/concept/2010/34-61358.pdf>>. Acesso em: 01/06/2020.

SILAHIAN, A. **How much money would it cost to setup high-frequency trading?** 2020. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/how-much-money-would-cost-setup-high-frequency-trading-ariel-silahian/>>. Acesso em 26/09/2021.

SMITH, R. **Is high-frequency trading inducing chances in market microstructure and dynamics?** 2010. Disponível em: <<http://arxiv.org/pdf/1006.5490.pdf>>. Acesso em: 21/06/2020.

SINERGIA TI. **R7525 | Servidor Dell PowerEdge R7525 com 2 Processadores AMD EPYC 7452 clock de 2,35 GHZ 32 Cores / 64 Threads 128MB memória cache DDR4-3200.** Disponível em: <<https://www.sinergiati.com.br/r7525-servidor-dell-poweredge-com-2-processadores-amd-epyc-7452-clock-de-2-35-ghz-32-cores-64-threads-128mb-memoria-cache-ddr4-3200>>. Acesso em: 16/11/2021.

TADIELLO, G. **High frequency trading e eficiência informacional: uma análise empírica do mercado de capitais brasileiro no período 2007-2015.** 2016. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-12012017-161053/pt-br.php>>. Acesso em: 20/07/2020

TANG, Q. **A scalable architecture for low-latency market data processing on FPGA.** 2016. *In:* IEEE Symposium on computers and communication (ISCC). Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7543802>>. Acesso em: 31/07/2021.

THOMAS, D. B. *et al.* **Hardware architectures for Monte-Carlo based financial simulations**. 2006. *In:* IEEE International Conference on Field Programmable Technology (FPT). Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4042474>>. Acesso em: 25/07/2021.

TIAN, X.; BENKRID, K. **Design and implementation of a high-performance financial Monte-Carlo simulation engine on an FPGA supercomputer**. 2008. *In:* IEEE International Conference on Field-Programmable Technology (FPT). Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/4762369>>. Acesso em: 20/07/2021.

TORO INVESTIMENTOS. **O que é dólar futuro?** 2021. Disponível em: <<https://blog.toroinvestimentos.com.br/dolar-futuro-o-que-e-como-investir>>. Acesso em: 12/11/2021.

UMUARAMA, A. C. **HFT negociação estratégias**. 2017. Disponível em: <<http://novocorretorforexumuarama.blogspot.com/2017/06/hft-negociacao-estrategias.html>>. Acesso em: 20/11/2020.

VAANANENE, J. **Dark pools & high frequency**. 2015. Disponível em: <<https://www.amazon.com.br/Dark-Pools-Frequency-Trading-Dummies/dp/1118879198>>. Acesso em: 25/11/2020.

WEINBERG, A. **Should you fear the EFT?** EFT's are scaring regulators and investors; here are dangers – real and perceived. 2015. *In:* Wall Street Journal. Disponível em: <<https://www.wsj.com/articles/should-you-fear-the-etf-1449457201>>. Acesso em: 25/11/2020.

XILINX. **AXI4-Stream Infrastructure IP suite**. 2017. Disponível em: <[https://www.xilinx.com/support/documentation/ip\\_documentation/axis\\_infrastructure\\_ip\\_suite/v1\\_1/pg085-axi4stream-infrastructure.pdf](https://www.xilinx.com/support/documentation/ip_documentation/axis_infrastructure_ip_suite/v1_1/pg085-axi4stream-infrastructure.pdf)>. Acesso em: 25/07/2021.

ZAKARTCHOUK, A. **O que você precisa para se tornar um trader HFT?**. Disponível em: <<https://blog.terrainvestimentos.com.br/o-que-voce-precisa-para-tornar-se-trader-hft>>. Acesso em: 26/09/2021.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. reimp. Florianópolis: UFSC, 2013. Disponível em: <[http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB\\_2014\\_2/Modulo\\_1/Metodologia/material\\_didatico/Livro%20texto%20Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf](http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB_2014_2/Modulo_1/Metodologia/material_didatico/Livro%20texto%20Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf)>. Acesso em: 31/07/2020.